



**ANALISIS PENURUNAN *HEAD LOSSES* PADA BELOKAN PIPA 180°
DENGAN VARIASI *NON TUBE BUNDLE*, *TUBE BUNDLE*
0,25 INCHI, DAN *TUBE BUNDLE* 0,5 INCHI**

SKRIPSI

Oleh
Priyo Ari Wibowo
NIM 091910101065

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**ANALISIS PENURUNAN *HEAD LOSSES* PADA BELOKAN PIPA 180°
DENGAN VARIASI *NON TUBE BUNDLE*, *TUBE BUNDLE*
0,25 INCHI, DAN *TUBE BUNDLE* 0,5 INCHI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Priyo Ari Wibowo
NIM 091910101065

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT Tuhan semesta alam, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan ayah tercinta Ramini dan Moh. Djaelani yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, membimbing, mengajari, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal serta doa yang tiada hentinya tucurahkan dengan penuh keikhlasan hati.
2. Kakakku yang tercinta Lilik Umroni yang senantiasa memberikan semangat dan dukungannya. Saya ucapkan terima kasih selalu tabah dan sabar dalam menghadapi cobaannya serta sukses selalu.
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen penguji 1 dan 2 yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Semua guru mulai dari guru TK, SD, SMP, maupun SMA yang tidak kenal lelah menularkan ilmunya, membimbing serta memberikan arahan yang terbaik hingga saya ke jenjang perguruan tinggi.
5. Teman-temanku yang telah membantu penelitian ini terselesaikan yaitu Bagus Satria, Muh. Mey Ade, Erfani, Teguh, Adit, Abrianto, Fanani, Dimas S, dan spesial Dera Dwi Herawati, S.Pd. tercinta saya ucapkan terima kasih banyak dan semoga kebaikan kalian akan dibalas dengan kebaikan pula oleh-Nya. Serta teman-teman N-Gine yang tidak disebutkan satu-persatu namanya, saya ucapkan

...
terima kasih atas dukungannya, kekompakannya sehingga kita menjadi keluarga
hingga saat ini dan sampai akhir hayat (*Solidarity Forever*).

MOTO

*Barang siapa keluar mencari ilmu maka ia berada
di jalan Allah sampai ia kembali
(H.R. Tirmidzi dari Anas Bin Malik r.a)*

*Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari
betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah
(Thomas Alva Edison)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Priyo Ari Wibowo

NIM : 091910101065

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Analisis Penurunan *Head Losses* pada Belokan Pipa 180° dengan Penambahan Variasi *Non Tube Bundle*, *Tube Bundle* 0,25 Inchi, dan *Tube Bundle* 0,5 Inchi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 September 2013

Yang menyatakan,

Priyo Ari Wibowo

NIM 091910101065

**ANALISIS PENURUNAN *HEAD LOSSES* PADA BELOKAN PIPA 180°
DENGAN VARIASI *NON TUBE BUNDLE*, *TUBE BUNDLE*
0,25 INCHI, DAN *TUBE BUNDLE* 0,5 INCHI**

SKRIPSI

Oleh:

Priyo Ari Wibowo
NIM 091910101065

Dosen Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Analisis Penurunan *Head Losses* pada Belokan Pipa 180° dengan Penambahan Variasi *Non Tube Bundle*, *Tube Bundle* 0,25 Inchi, dan *Tube Bundle* 0,5 Inchi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 24 September 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP 196701123 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Analisis Penurunan *Head Losses* pada Belokan Pipa 180° dengan Penambahan Variasi *Non Tube Bundle*, *Tube Bundle* 0,25 Inchi, dan *Tube Bundle* 0,5 Inchi;
Priyo Ari Wibowo, 091910101065; 2013: 85 halaman; Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem perpipaan adalah suatu alat yang banyak digunakan pelaku industri pada saat ini. Sistem perpipaan adalah suatu alat berupa rangkaian pipa yang dirancang sedemikian rupa digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya yang digunakan untuk kebutuhan industri. Dari banyaknya pemakaian sistem perpipaan serta banyaknya sambungan yang digunakan misalnya katup atau kran, penampang berubah, belokan 90°, dan belokan 180° sehingga timbul suatu permasalahan. Salah satu permasalahan tersebut adalah terjadinya *head losses* pada belokan 180° yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*). Dari permasalahan tersebut ada suatu alat yang dapat mengurangi *head losses* yaitu *flow conditioner*. Salah satu dari tipe *flow conditioner* tersebut adalah *tube bundle* yaitu kumpulan pipa-pipa yang diikat menjadi satu yang dipasang pada penampang melintang pada pipa. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh pemasangan *tube bundle* terhadap: 1) penurunan nilai tekanan setelah belokan 180°, 2) penurunan nilai *head losses* setelah belokan 180°, 3) mengetahui hubungan antara kecepatan dan tekanan pada setiap titik pengukuran.

Penelitian ini dilaksanakan dalam 5 tahap pengujian yaitu pengujian *head losses* tanpa menggunakan *tube bundle*, menggunakan *tube bundle* 0,25 inchi sebelum belokan, menggunakan *tube bundle* 0,25 inchi setelah belokan, menggunakan *tube bundle* 0,5 inchi sebelum belokan, dan menggunakan *tube bundle* 0,5 inchi setelah belokan. Setiap pengujian dilakukan 3 variasi debit aliran yang nilainya disesuaikan

dengan bukaan katup. Pada setiap pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali yang kemudian nilainya diambil rata-ratanya.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa pengaruh penambahan *tube bundle* ukuran 0,25 inci dan 0,5 inci yang dipasang sebelum maupun setelah belokan 180° akan menurunkan nilai kecepatan fluida yang diikuti dengan penurunan *head losses* serta akan menaikkan nilai tekanan fluida, nilai penurunan *head losses* yang tinggi yaitu pada pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° dengan nilai 8,595 m dengan debit 0,001667 m³/s pada ukuran pipa 1,5 inci dan 5,727 m dengan debit 0,002144 m³/s pada ukuran pipa 2 inci. Hubungan antara tekanan dan kecepatan fluida adalah berbanding terbalik yang artinya apabila nilai tekanan rendah maka nilai kecepatan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai tekanan tinggi maka nilai kecepatan akan rendah. Hal ini dibuktikan dengan adanya kenaikan tekanan akibat adanya penambahan *tube bundle* yang diiringi dengan penurunan kecepatan fluida.

SUMMARY

Head Loss Decreasing at 180° Bend with Additional Variation of Non, 0,25 Inches and 0,5 Inches Tube Bundle; Priyo Ari Wibowo, 091910101065; 2013: 85 page; Mecahnical Engineering Faculty Jember University.

Piping system is a tool that widely used in industry today. The piping system is network of pipes that form tool designed so used to transfer fluid from one place to another is used for industrial needs. Usage of many piping system as well as the many connections that are used as valve or faucet, cross section, bend 90°, and bend 180°. one of these is the head losses at 180° turn causes a decrease in pressure drop. Of these problems there are a tool reduce head losses that is flow conditioner . one of these type of flow conditioner is a tube bundle that is a collection pf pipes tied together mounted on the pipe cross section. The purpose of the research to know effect installation tube bundle againts: 1) impairment of pressure after bend 180°, 2) impairment head losses after bend 180°, 3) determine the relationship between velocity and pressure at each measurement point.

This research was carried out in 5 stage testing that is testing head losses without using tube bundle, using tube bundle 0,25 inchi before bend, using tube bundle 0,25 inchi after bend, using tube bundle 0,5 inchi before bend, dan using tube bundle 0,5 inchi after bend. Each test performed 3 variations of value stream discharge suit with opening of valve. At each test be repeated 3 times and then taken is average value.

From the result of this research found effect of tube bundle size 0,25 inches and 0,5 inches were installed before nor after bend 180° will decrease value of fluid velocity is followed with decrease head losses and will raise value of fluid pressure, decrease value of head losses which high on mounting tube bundle size 0,5 inches which is placed after bend with value 8,595 m on discharge 0,001667 m³/s on size

pipe 1,5 inches and 5,727 m on discharge 0,002144 m³/s on size pipe 2 inches. The relationship between pressure and fluid velocity is inversely proportional. which means if the value of the low pressure, the value will be high speed and vice versa if the value of high pressure will lower the value of speed. This is evidenced with increase in pressure due to the addition of tube bundle is accompanied with decrease fluid velocity.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Penurunan *Head Losses* pada Belokan Pipa 180° dengan Penambahan Variasi *Non Tube Bundle*, *Tube Bundle* 0,25 Inchi, dan *Tube Bundle* 0,5 Inchi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu dan bapak yang senantiasa memberikan doa dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. dan Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen penguji 1 dan 2 yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Guru-guru mulai dari TK sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya.
5. Kakakku yang tercinta yang selalu memberikan dorongan dan semangat sehingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Semua keluargaku yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga kelancaran yang tercipta memberikan dampak yang positif terhadap proses penyelesaian skripsi ini.

7. Deraku tercinta yang selalu memberikan dorongan, semangat, dukungan, pengorbanan waktu, serta pengorbanan tenaga dalam penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
8. Teman-temanku seperjuangan *N-Gine*, salam “*Solidarity forever*”
9. Mbak Halimah selaku staf administrasi Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas bantuannya selama ini.
10. Staf Fakultas Teknik Universitas Jember
11. Serta semua pihak yang membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menampung segala saran dan kritik pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, 24 September 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aliran Fluida.....	5
2.2 Sistem Perpipaan	18
2.3 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh	21
2.4 Kehilangan Energi (<i>Head Losses</i>)	23
2.5 <i>Flow Conditioner</i>	25
2.6 Hipotesis Penelitian	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Metode Penelitian.....	28

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Prosedur Pengujian.....	30
3.6 Skema Alat Uji	34
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Penelitian.....	36
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian.....	37
BAB 5. PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN.....	68
LAMPIRAN 2. TABEL	77
LAMPIRAN 3. DOKUMENTASI.....	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Sifat air kekentalan dan (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer.....	2
4.1 Hasil penelitian pada pipa 1,5 inchi <i>non tube bundle</i>	36
4.2 Hasil penelitian pada pipa 2 inchi <i>non tube bundle</i>	36
L1.1 Hasil pengujian pada pipa 1,5 inchi	69
L1.2 Hasil pengujian pada pipa 2 inchi	73
L2.1 Hasil penelitian tanpa <i>tube bundle</i>	78
L2.2 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi sebelum belokan.....	78
L2.3 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi setelah belokan.....	78
L2.4 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi sebelum belokan.....	79
L2.5 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 setelah belokan.....	79
L2.6 Hasil penelitian tanpa <i>tube bundle</i>	79
L2.7 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi sebelum belokan.....	79
L2.8 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi setelah belokan.....	80
L2.9 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi sebelum belokan.....	80
L2.10 Hasil penelitian menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi setelah belokan.....	80

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak.....	8
2.2 Penentuan kekentalan	9
2.3 Diagram Rheologi.....	10
2.4 Tabung aliran membuktikan persamaan kontinuitas	12
2.5 Tabung aliran fluida.....	14
2.6 Proses berkembangnya aliran di atas plat.....	16
2.7 Perilaku aliran dalam pipa	16
2.8 Perbedaan antara aliran laminar, transisi, dan turbulen	17
2.9 Definisi tegangan geser.....	21
2.10 Grafik <i>head losses</i> – kecepatan.....	22
2.11 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh pada sistem pipa	23
2.12 Efek bilangan bilangan Reynolds terhadap koefisien kerugian pada elbow 90°..	26
2.13 a. pemasangan <i>tube bundle</i> pada pipa ukuran 1,5 inchi, b. pemasangan <i>tube bundle</i> pada pipa 2 inchi.....	27
2.14 a. pemasangan <i>tube bundle</i> sebelum belokan pipa, b. pemasangan <i>tube bundle</i> setelah belokan pipa.....	28
3.1 Skema Alat	34
3.2 Diagram alir penelitian	35
4.1 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi pipa 1,5 inchi	37
4.2 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi pipa 1,5 inchi	40

4.3	Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi sebelum belokan dan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi sebelum belokan pipa 1,5 inchi	42
4.4	Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi setelah belokan dan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi setelah belokan pipa 1,5 inchi	44
4.5	Grafik tekanan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi pipa 2 inchi	46
4.6	Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi pipa 2 inchi	49
4.7	Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi sebelum belokan dan <i>tube bundle</i> 0,5 inci sebelum belokan pipa 2 inchi	52
4.8	Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi setelah belokan dan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi setelah belokan pipa 2 inchi	54
4.9	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi pada pipa 1,5 inchi	56
4.10	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi pada pipa 1,5 inchi	58
4.11	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> pada pipa 1,5 inchi	59
4.12	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> 0,25 inchi pada pipa 2 inchi	60
4.13	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> 0,5 inchi pada pipa 2 inchi	62
4.14	Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap <i>head losses</i> dengan pemasangan <i>tube bundle</i> pada pipa 2 inchi	63
L3.1	Rangkaian prototipe.....	81

L3.2 Tandon atas.....	81
L3.3 Manometer pengukuran.....	82
L3.4 Pengujian debit	82
L3.5 <i>Tube bundle</i> ukuran 0,5 inchi	83
L3.6 <i>Tube bundle</i> ukuran 0,5 inchi tampak depan.....	83
L3.7 Belokan 180° ukuran 1,5 inchi	84
L3.8 Belokan 180° ukuran 2 inchi	84
L3.9 <i>Tube bundle</i> ukuran 0,25 inchi	85
L3.5 <i>Tube bundle</i> ukuran 0,25 inchi tampak depan.....	85

DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang (m^2)
D	= diameter (m)
F	= gaya (N)
f	= faktor gesekan (diagram Moody)
g	= gravitasi bumi ($9,8 m/s^2$)
h_f	= <i>head losses mayor</i> (m)
h_m	= <i>head losses minor</i> (m)
k_{kb}	= koefisien kerugian
m	= massa (kg)
P	= tekanan (N/m^2)
ρ	= massa jenis (kg/m^3)
Q	= debit (m^3/s)
Re	= bilangan Reynold
SG	= berat jenis
τ	= tegangan geser (kg/m^2)
μ	= viskositas fluida ($N/m^2 \cdot s$)
V	= volume (m^3)
v	= kecepatan (m/s^2)
ν	= viskositas kinematik (m^2/s)

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut (Zainudin dkk, 2012) dewasa ini sistem perpipaan dapat ditemukan hampir pada semua jenis industri, baik di industri yang membutuhkan saluran pipa untuk mengalirkan fluida, di perusahaan air minum, dan industri perminyakan. Sistem perpipaan inilah yang dapat memudahkan pelaku industri untuk mendistribusikan fluida yang digunakan untuk kebutuhan industrinya. Terdapat banyak variasi sistem perpipaan mulai dari sistem pipa tunggal yang sederhana sampai sistem pipa bercabang yang sangat kompleks. Pada sistem perpipaan meliputi semua komponen dari lokasi awal sampai dengan lokasi tujuan antara lain, saringan (*strainer*), katup atau kran, sambungan, nosel dan sebagainya. Sambungan dapat berupa penampang berubah, belokan (*elbow*), belokan 180° (*return bend 180°*), dan sambungan bentuk T (*tee*). Sehingga dengan adanya berbagai macam sambungan serta asesoris lainnya akan menimbulkan permasalahan yang akan sering kita temukan pada sistem tersebut.

Salah satu permasalahan tersebut adalah terjadinya *head losses* pada belokan 180° yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*). Penurunan tekanan ini terjadi akibat adanya turbulensi aliran yang akan menimbulkan gesekan besar pada dinding pipa. *Head losses* dapat dibagi menjadi 2 yaitu, *major losses* dan *minor losses*. *Major losses* adalah kerugian pada sistem perpipaan akibat adanya gesekan fluida dengan dinding pipa memanjang. *Minor losses* adalah kerugian pada sistem perpipaan akibat adanya sambungan pipa (*fitting*). Belokan pipa 180° sudah banyak digunakan di industri namun masih belum banyak digunakan di kalangan umum. Hal ini menjadi kajian yang menarik untuk dapat mengetahui nilai penurunan tekanan yang terjadi dan kemudian dibandingkan dengan pemasangan *flow conditioner* pada belokan tersebut.

Menurut (James E, 2004) *flow conditioner* adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran suatu instalasi perpipaan

sehingga dapat mengurangi turbulensi aliran. Alat ini mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas penampang, dan *orifice* dengan cara menghilangkan *vortex*. Menurut (Marine, 2012) *vortex* adalah suatu aliran dimana fluida tersebut partikelnya berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusat. *Vortex* dapat menimbulkan terjadinya separasi yang kemudian mengakibatkan penurunan tekanan yang besar. Pada kerugian ini dapat peluang terjadinya kerusakan instalasi perpipaan terutama di sekitar variasi perpipaan. Kerugian yang paling vital akibat terjadi *head losses* ini adalah rusaknya pompa dikarenakan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida sangat besar. Sehingga pada permasalahan ini perlu adanya alat yang dapat mengurangi terjadinya penurunan tekanan (*preassure drop*) akibat adanya *vortex* yang terjadi di belokan 180°. Alat yang akan dipasang untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan *tube bundle*.

Menurut (Wahyudi, 2010) *tube bundle* adalah salah satu jenis *flow conditioner* yang terdiri dari kumpulan tabung-tabung yang diikat menjadi satu yang di pasang pada penampang melintang di dalam pipa. *Tube bundle* merupakan *flow conditioner* yang dapat secara efektif menghilangkan *vortex* pada aliran lebih besar daripada *flow conditioner* jenis lainnya. Alat ini diharapkan akan mampu mengatasi kerugian penurunan tekanan (*pressure drop*) setelah belokan 180° yang mana alat ini akan dipasang tepat pada belokan tersebut. Tidak akan terbentuk turbulensi setelah belokan 180° pemasangan alat ini sehingga aliran menjadi laminar.

Menurut (Wahyudi, 2010) aliran laminar adalah aliran dimana partikel-partikel fluida yang bergerak memiliki keteraturan mengikuti kesejajaran dengan pipa yang memiliki kecepatan aliran yang sama di sepanjang penampang pipa. Ciri-ciri dari aliran laminar ini adalah memiliki kestabilan yang baik, sehingga penurunan tekanan yang terjadi relatif kecil. Sedangkan aliran turbulen merupakan aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.

Hal ini ditandai dengan meningkatnya kecepatan fluida yang diiringi dengan meningkatnya bilangan Reynolds.

Menurut (Wahyudi, 2010) telah melakukan penelitian terkait dengan penggunaan *tube bundle* sebagai alat *flow conditioner* yang digunakan pada belokan 90° (*elbow* 90°). Variabel yang digunakan adalah jarak dari *tube bundle* tersebut yang diletakkan setelah belokan 90° yaitu 2D, 3D, 4D, dan 5D serta kecepatan aliran fluida yang melewati instalasi yaitu 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, dan 2000 liter/jam. Dengan hasil penelitian adalah semakin jauh jarak peletakan *tube bundle* terhadap sisi keluaran pada belokan pipa maka beda tekanan yang terjadi semakin besar, yaitu pada kecepatan 1000 liter/jam jarak 2D mempunyai nilai beda tekanan 1516 N/m^2 sedangkan pada jarak 5D mempunyai nilai 1941 N/m^2 .

Dari penelitian tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih jauh tentang Analisis Penurunan *Head Losses* pada Belokan 180° dengan Variasi Diameter *Tube Bundle*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kerugian *head* pada belokan 180° yang kemudian dibandingkan dengan pemasangan *tube bundel* pada belokan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah seberapa besar perbandingan penurunan *head losses* pada belokan pipa 180° dengan variasi diameter *tube bundle*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini mempunyai arah yang jelas dan pasti, maka masalah-masalah tersebut dibatasi sebagai berikut:

- a. Dalam penelitian ini nilai kekasaran permukaan dinding pipa diabaikan.
- b. Tidak membahas kebocoran pada sistem perpipaan.
- c. Dalam penelitian ini menggunakan fluida air.
- d. Tidak membahas *head losses mayor*

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi akibat adanya belokan 180° (*return bend 180^\circ*) setelah pemasangan *tube bundle*.
- b. Mengetahui penurunan *head losses* dengan penambahan variasi *non tube bundle*, *tube bundle 0,25 inchi*, dan *tube bundle 0,5 inchi*.
- c. Mengetahui hubungan antara kecepatan dengan tekanan pada setiap titik pengukuran.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang diambil dari penelitian ini adalah:

- a. Mencegah kerusakan sistem perpipaan.
- b. Mencegah terjadinya kerusakan pompa.
- c. Mengurangi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terlalu besar.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk (distorsi) secara permanen. Bila kita mencoba mengubah bentuk suatu massa fluida, maka di dalam fluida tersebut akan terbentuk lapisan-lapisan di mana lapisan yang satu akan mengalir di atas lapisan yang lain, sehingga tercapai bentuk baru. Selama perubahan bentuk tersebut, terdapat tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya bergantung pada viskositas fluida dan laju alir fluida relatif terhadap arah tertentu. Bila fluida telah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser tersebut akan hilang sehingga fluida berada dalam keadaan kesetimbangan. Pada temperatur dan tekanan tertentu, setiap fluida mempunyai densitas tertentu. Jika densitas hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan yang suhu dan tekanan yang relatif besar, fluida tersebut bersifat *incompressible*. Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variabel temperatur dan tekanan, fluida tersebut digolongkan *compressible*. Zat cair biasanya dianggap zat yang *incompressible*, sedangkan gas umumnya dikenal sebagai zat yang *compressible* (Modul ITB, 2001).

Perilaku zat cair yang mengalir sangat bergantung pada kenyataan apakah fluida itu berada di bawah pengaruh bidang batas padat atau tidak. Di daerah yang pengaruh gesekan dinding kecil, tegangan geser dapat diabaikan dan perilakunya mendekati fluida ideal, yaitu *incompressible* dan mempunyai viskositas 0. Aliran fluida ideal yang demikian disebut aliran potensial. Pada aliran potensial berlaku prinsip-prinsip mekanika Newton dan hukum kekekalan massa. Aliran potensial mempunyai 2 ciri pokok:

- a. Tidak terdapat sirkulasi ataupun pusaran sehingga aliran potensial itu disebut aliran irrotasional

- b. Tidak terjadi gesekan sehingga tidak ada disipasi (pelepasan) dari energi mekanik menjadi kalor.

Prinsip-prinsip dasar yang paling berguna dalam penerapan mekanika fluida adalah persamaan-persamaan neraca massa atau persamaan kontinuitas, persamaan-persamaan neraca momentum linear, dan neraca momentum angular (sudut), serta neraca energi mekanik. Persamaan-persamaan itu dapat dituliskan dalam bentuk diferensial yang menunjukkan kondisi pada suatu titik di dalam elemen volume fluida, atau dapat pula dalam bentuk integral yang berlaku untuk contoh volume tertentu atau massa tertentu.

2.1.1 Sifat Dasar Fluida

Cairan dan gas disebut *fluida*, sebab zat cair tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu; kerapatan (*density*), berat jenis (*specific gravity*), tekanan (*pressure*), kekentalan (*viscosity*).

a. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan atau density dinyatakan dengan ρ (rho) yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa per satuan volume (Chapter 2, 2011). Yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{Kg/m}^3] \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana: ρ = kerapatan (Kg/m^3)

m = massa (Kg)

V = Volume (m^3)

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI untuk kerapatan adalah kg/m^3 . Kadang kerapatan diberikan dalam g/cm^3 . Dengan catatan bahwa jika $\text{kg/m}^3 = 1000 \text{ g}/(100 \text{ cm}^3)$, kemudian kerapatan yang diberikan dalam

g/cm^3 harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam kg/m^3 . Dengan demikian kerapatan air adalah $1,00 \text{ g/cm}^3$, akan sama dengan 1000 kg/m^3 .

b. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis (*specific gravity* disingkat SG) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan (Chapter 2, 2011), dinyatakan pada persamaan 2.2 dan 2.3 sebagai berikut:

$$\text{Untuk fluida cair SGc} = \frac{\rho_g [\text{g/cm}^3]}{\rho_w [\text{g/cm}^3]} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Untuk fluida cair SGg} = \frac{\rho_g [\text{g/cm}^3]}{\rho_a [\text{g/cm}^3]} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: ρ_w = massa jenis air (g/cm^3)
 ρ_g = massa jenis gas (g/cm^3)
 ρ_a = massa jenis udara (g/cm^3)

c. Tekanan (*Pressure*)

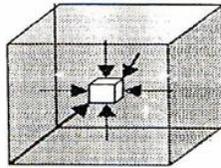
Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A (Chapter 2, 2011), maka:

$$P = \frac{F}{A} [\text{N/m}^2] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana: P = Tekanan (N/m^2)
 F = Gaya (N)
 A = Luas Permukaan (m^2)

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam berurusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa *fluida menggunakan tekanan ke semua arah*. Hal ini sangat dikenal oleh para perenang dan juga penyelam yang secara langsung merasakan tekanan air pada seluruh bagian tubuhnya. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Ini diilustrasikan dalam 2.1. Bayangan fluida

dalam sebuah kubus kecil sehingga kita dapat mengabaikan gaya gravitasi yang bekerja padanya. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya netto yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini *akan bergerak* hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.

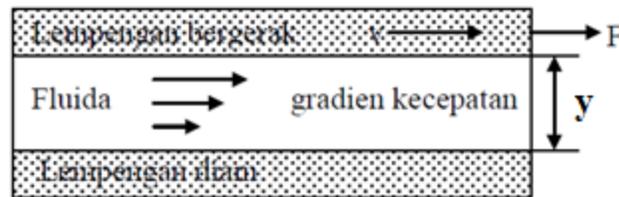


Gambar 2.1 Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak (Chapter 2, 2011)

d. Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah dimana fluida itu mengalir. Ini ada dalam cairan atau gas, dan pada dasarnya adalah gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah tempat ia mengalir. Dalam cairan, kekentalan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya sedangkan gas, berasal tumbukan diantara molekul-molekul tersebut (Chapter 2, 2011).

Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan *koefisien kekentalan*, μ yang didefinisikan dengan cara sebagai berikut: Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat diantara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Dengan demikian permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju v yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan diam (Chapter 2, 2011). Kecepatan bervariasi secara linear dari 0 hingga v seperti ditunjukkan gambar 2.2.



Gambar 2.2 Penentuan kekentalan (Chapter 2, 2011)

$$\mu = \frac{F/A}{V/y} \dots\dots\dots (2.5)$$

- Dimana:
- μ = kekentalan fluida (Pa.s)
 - F = gaya (kg)
 - A = luas lempengan bergerak (m^2)
 - v = kecepatan fluida (m/s)
 - y = ketinggian fluida (m)

Viskositas dibedakan atas dua macam yaitu:

- 1) Viskositas kinematik, adalah perbandingan antara viskositas mutlak terhadap rapat jenis / *density*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Dimana
- μ = nilai viskositas mutlak (kg/m.s)
 - ρ = nilai kerapatan massa fluida (kg/m^3)

- 2) Viskositas dinamik atau viskositas mutlak mempunyai nilai sama dengan hukum viskositas Newton.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots\dots\dots (2.7)$$

- Dimana
- τ = tegangan geser pada fluida (kg/m^2)
 - du/dy = gradient kecepatan (m/s)

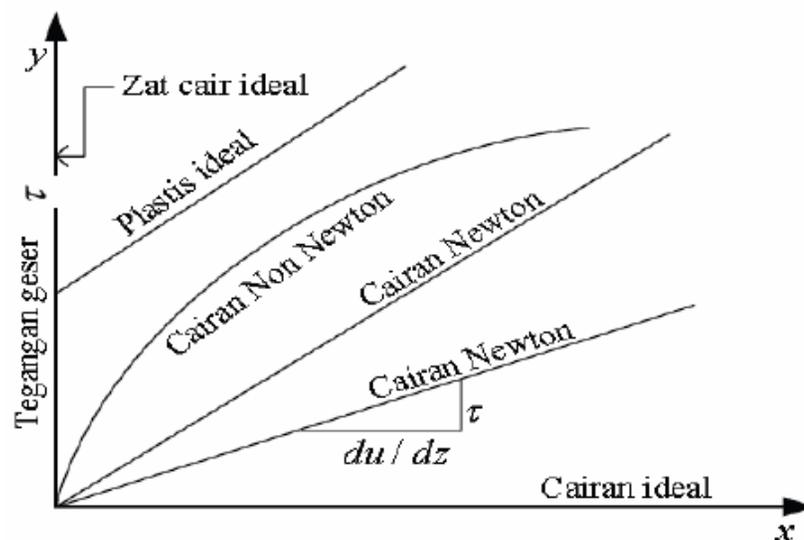
2.1.2 Aliran Dalam Tabung

Jika fluida tidak mempunyai kekentalan, ia dapat mengalir melalui tabung atau pipa mendatar tanpa memerlukan gaya. Oleh karena itu adanya kekentalan, perbedaan tekanan antara kedua ujung tabung diperlukan untuk aliran mantap setiap fluida

nyata, misalnya air atau minyak didalam pipa. Laju alir dalam tabung bulat bergantung pada kekentalan fluida, perbedaan tekanan, dan dimensi tabung.

a. Fluida Newtonian dan Fluida Non-Newtonian

Sebuah fluida Newtonian didefinisikan sebagai fluida yang tegangan gesernya berbanding lurus secara linier dengan gradien kecepatan pada arah tegak lurus dengan bidang geser. Definisi ini memiliki arti bahwa fluida newtonian akan mengalir terus tanpa dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Sebagai contoh, air adalah fluida Newtonian karena air memiliki properti fluida sekalipun pada keadaan diaduk. Sebaliknya, bila fluida non-Newtonian diaduk, akan tersisa suatu "lubang". Lubang ini akan terisi seiring dengan berjalannya waktu. Sifat seperti ini dapat teramati pada material-material seperti puding. Peristiwa lain yang terjadi saat fluida non-Newtonian diaduk adalah penurunan viskositas yang menyebabkan fluida tampak "lebih tipis" (dapat dilihat pada cat). Ada banyak tipe fluida non-Newtonian yang kesemuanya memiliki properti tertentu yang berubah pada keadaan tertentu. Hal ini diilustrasikan dengan jelas pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Rheologi

b. Persamaan pada fluida Newtonian

Konstanta yang menghubungkan tegangan geser dan gradien kecepatan secara linier dikenal dengan istilah viskositas. Persamaan yang menggambarkan perlakuan fluida Newtonian adalah:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana τ = tegangan geser yang dihasilkan oleh fluida

μ = viskositas fluida-sebuah konstanta proporsionalitas

dv/dx = gradien kecepatan tegak lurus dengan arah geseran

Viskositas pada fluida Newtonian secara definisi hanya bergantung pada temperatur dan tekanan dan tidak bergantung pada gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Jika fluida bersifat inkompresibel maka viskositas bernilai tetap di seluruh bagian fluida. Persamaan yang menggambarkan tegangan geser (dalam koordinat kartesian) adalah:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana τ_{ij} = adalah tegangan geser pada bidang i^{th} dengan arah j^{th}

v_i = adalah kecepatan pada arah i^{th}

x_j = adalah koordinat berarah j^{th}

Jika suatu fluida tidak memenuhi hubungan ini, fluida ini disebut fluida non-Newtonian.

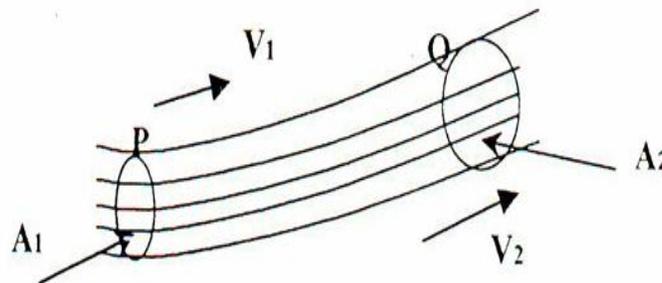
Fluida Newtonian (istilah yang diperoleh dari nama Isaac Newton) adalah suatu fluida yang memiliki kurva tegangan/regangan yang linier. Contoh umum dari fluida yang memiliki karakteristik ini adalah air. Keunikan dari fluida newtonian adalah fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Hal ini disebabkan karena viskositas dari suatu fluida newtonian tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Viskositas dari suatu fluida

newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan. Perbedaan karakteristik akan dijumpai pada fluida *non-newtonian*. Pada fluida jenis ini, viskositas fluida akan berubah bila terdapat gaya yang bekerja pada fluida (seperti pengadukan).

c. Persamaan Kontinuitas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran yang disebut koefisien viskositas. Satuan SI untuk koefisien viskositas adalah $\text{N/m}^2 \cdot \text{s}$ atau pascal sekon (Pa. s) (Audinas, 2011).

Gerak fluida didalam suatu tabung aliran haruslah sejajar dengan dinding tabung. Meskipun besar kecepatan fluida dapat berbeda dari suatu titik ke titik lain didalam tabung. Pada gambar 2.4 menunjukkan tabung aliran untuk membuktikan persamaan kontinuitas (Chapter 2, 2011).



Gambar 2.4 Tabung aliran membuktikan persamaan kontinuitas (Chapter 2, 2011)

Pada gambar 2.4, misalkan pada titik P besar kecepatan adalah V_1 , dan pada titik Q adalah V_2 . Kemudian A_1 dan A_2 adalah luas penampang tabung aliran tegak lurus pada titik Q. Didalam interval waktu Δt sebuah elemen fluida mengalir kira-kira sejauh $V\Delta t$. Maka massa fluida Δm_1 yang menyeberangi A_1 selama interval waktu Δt adalah

$$\Delta m = \rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 \cdot \Delta t \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan kata lain massa $\Delta m/\Delta t$ adalah kira-kira sama dengan $\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1$. Kita harus mengambil Δt cukup kecil sehingga didalam interval waktu ini baik V maupun A tidak berubah banyak pada jarak yang dijalani fluida, sehingga dapat ditulis massa di titik P adalah $\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1$ massa di titik Q adalah $\rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$, dimana ρ_1 dan ρ_2 berturut-turut adalah kerapatan fluida di P dan Q.

Karena tidak ada fluida yang berkurang dan bertambah maka massa yang menyeberangi setiap bagian tabung per satuan waktu haruslah konstan. Maka massa P haruslah sama dengan massa di Q, sehingga dapatlah ditulis sebagai berikut.

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \dots \dots \dots (2.12)$$

Persamaan (2.9) berikut menyatakan hukum kekekalan massa didalam fluida. Jika fluida yang mengalir tidak termampatkan, dalam arti kerapatan konstan maka persamaan (2.9) dapat ditulis menjadi:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

Persamaan diatas dikenal dengan persamaan kontinuitas.

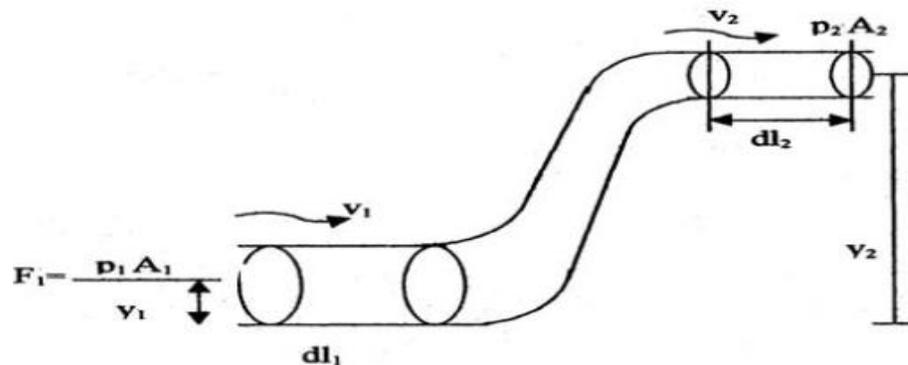
d. Persamaan Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama (Andhy, 2013). Asas Bernoulli menyatakan bahwa pada pipa mendatar, tekanan fluida paling besar adalah pada bagian yang kelajuan alirannya paling kecil. Sebaliknya, tekanan paling kecil adalah pada bagian yang kelajuan alirannya paling besar (Pustaka, 2013).

Suatu persamaan yang banyak dipakai, yang menghubungkan tekanan, kecepatan, dan elevasi bermula di masa Daniel Bernoulli dan Leonhrad Euler dalam abad ke-18. Persamaan Bernoulli merupakan persamaan dasar dari dinamika fluida di mana berhubungan dengan tekanan (p), kecepatan aliran (v) dan ketinggian (h), dari

suatu pipa yang fluidanya bersifat tak kompresibel dan tak kental, yang mengalir dengan aliran yang tak turbulen. Tinjau aliran fluida pada pipa dengan ketinggian yang berbeda seperti Gambar 2.5.

Bagian sebelah kiri pipa mempunyai luas penampang A_1 dan sebelah kanan pipa mempunyai luas penampang A_2 . Fluida mengalir disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi padanya. Pada bagian kiri fluida terdorong sepanjang dl_1 akibat adanya gaya $F_1 = A_1 p_1$ sedangkan pada bagian kanan dalam selang waktu yang sama akan berpindah sepanjang dl_2 (Dilah, 2009).



Gambar 2.5 Tabung aliran fluida

Usaha yang dilakukan oleh gaya F_1 adalah $dW_1 = A_1 p_1 dl_1$ sedang pada bagian kanan usahanya $dW_2 = -A_2 p_2 dl_2$

$$dW_1 + dW_2 = A_1 p_1 dl_1 - A_2 p_2 dl_2$$

Sehingga usaha totalnya adalah:

$$W_1 + W_2 = A_1 p_1 l_1 - A_2 p_2 l_2$$

Bila massa fluida yang berpindah adalah m dan rapat massa fluida adalah ρ , maka diperoleh persamaan:

$$W = (p_1 - p_2) \frac{m}{\rho}$$

Persamaan diatas merupakan usaha total yang dilakukan oleh fluida. Bila fluida bersifat tak kental, maka tak ada gaya gesek sehingga kerja total tersebut merupakan perubahan energi mekanik total pada fluida yang bermassa m . Besarnya tambahan energi mekanik total adalah:

$$E = \left(\frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 \right) + (mgh - mgh_1)$$

Maka

$$(p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} = \left(\frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 \right) + (mgh - mgh_1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \dots\dots\dots (2.14)$$

Sehingga dapat disimpulkan:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.15)$$

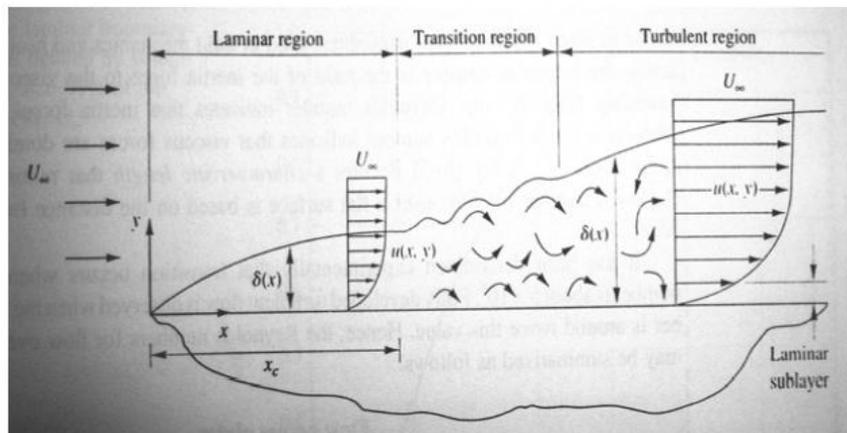
2.1.3 Jenis dan Karakteristik Fluida

Hal yang berhubungan dengan jenis dan karakteristik aliran fluida yang dimaksudkan di sini adalah profil aliran dalam wadah tertutup (pipa umumnya). Profil aliran dari fluida yang melalui pipa, akan dipengaruhi oleh gaya momentum fluida yang membuat fluida bergerak di dalam pipa, gaya viscous/gaya gesek yang menahan aliran pada dinding pipa dan fluidanya sendiri (gesekan internal) dan juga dipengaruhi oleh belokan pipa, valve sebagainya. Jenis aliran fluida terbagi dalam 2 bagian yaitu aliran laminar dan aliran turbulen.

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

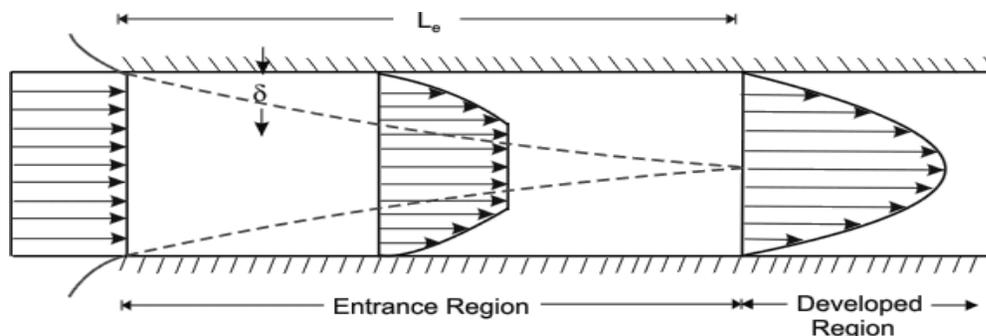
Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang kecil yang pada

gilirannya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kecepatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum aliran tersebut turbulen. Pada aliran internal, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen.



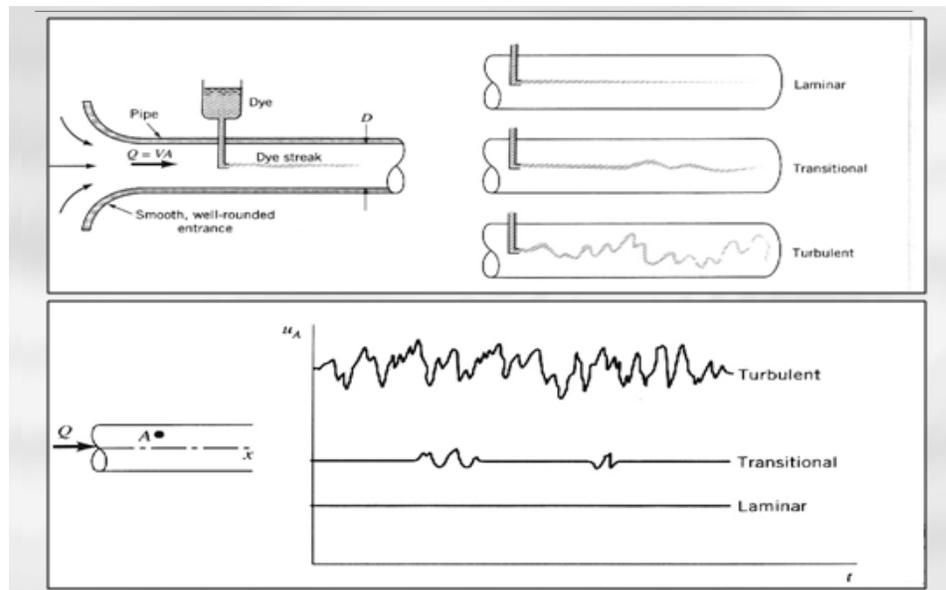
Gambar 2.6 Proses berkembangnya aliran di atas plat

Ketika aliran melewati awal ujung pipa, distribusi kecepatan didalam pipa mempunyai bentuk yang tidak teratur yang disebut aliran sedang berkembang. Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami *fully developed flow* atau berkembang penuh, maka distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet semakin panjang.



Gambar 2.7 Perilaku aliran dalam pipa

Adapun tinjauan umum dari aliran dan turbulen dari Osborne Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dan mengklasifikasikan dua aliran ini dengan menggunakan peralatan sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Aliran laminar terjadi pada partikel-partikel (massa molar yang kecil) fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, yang mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian ke bagian lainnya. Turbulensi membangkitkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (irreversibilitas) atau kerugian.



Gambar 2.8 Perbedaan antara aliran laminar, transisi, dan turbulen (Sumber: rawicaksana, 2012).

Untuk mengetahui jenis aliran fluida dilakukan dengan apa yang disebut dengan bilangan Reynolds (Re).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (2.16)$$

Besarnya bilangan Reynold yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat menunjukkan apakah profil aliran tersebut luminer atau turbulen. Biasanya angka Rd

<2000 merupakan batas aliran laminar dan angka lebih besar dari $Rd >4000$ dikatakan aliran turbulen. Sedangkan Rd diantara keduanya dinyatakan sebagai aliran transisi. Karakteristik lain yang mempengaruhi pengukuran laju aliran adalah temperatur dan tekanan fluida tersebut, khususnya bila fluida tersebut adalah fluida gas. Hal ini disebabkan karena massa jenis (ρ) fluida gas sangat dipengaruhi oleh kedua besaran yang disebutkan diatas.

Jenis aliran fluida didalam pipa tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

- a. Kecepatan fluida (v) didefinisikan besarnya kecepatan aliran yang mengalir persatuan luas.

$$v = \frac{Q}{A} \text{ [m/detik] (2.17)}$$

- b. Kecepatan (Q) didefinisikan suatu kecepatan aliran fluida yang memberikan banyaknya volume fluida dalam pipa.

$$Q = A \times v \text{ [m}^3\text{/detik] (2.18)}$$

2.2 Sistem Perpipaan

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo 1996: 25). Fluida yang di alirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan dalam zat cair. Tekanan di permukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Aliran viskos adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Viskositas terjadi pada temperature tertentu. Tabel 2.2. memberikan sifat air (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperature. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu

bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi.

Tabel 2.1 Sifat air kekentalan dan (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer

No	Suhu °C	Kekentalan Air N.s/m ²	Viskositas Kinematik m ² /dt
1	0.0	1,788 x 10 ⁻³	1.788 x 10 ⁻⁶
2	10.0	1,307 x 10 ⁻³	1.307 x 10 ⁻⁶
3	20.0	1,003 x 10 ⁻³	1.005 x 10 ⁻⁶
4	30.0	0,799 x 10 ⁻³	0.802 x 10 ⁻⁶
5	40.0	0,657 x 10 ⁻³	0.662 x 10 ⁻⁶
6	50.0	0,548 x 10 ⁻³	0.555 x 10 ⁻⁶
7	60.0	0,467 x 10 ⁻³	0.475 x 10 ⁻⁶
8	70.0	0,405 x 10 ⁻³	0.414 x 10 ⁻⁶
9	80.0	0,355 x 10 ⁻³	0.365 x 10 ⁻⁶
10	90.0	0,316 x 10 ⁻³	0.327 x 10 ⁻⁶
11	100.0	0,283 x 10 ⁻³	0.295 x 10 ⁻⁶

(Sumber: *White*, 1986:390)

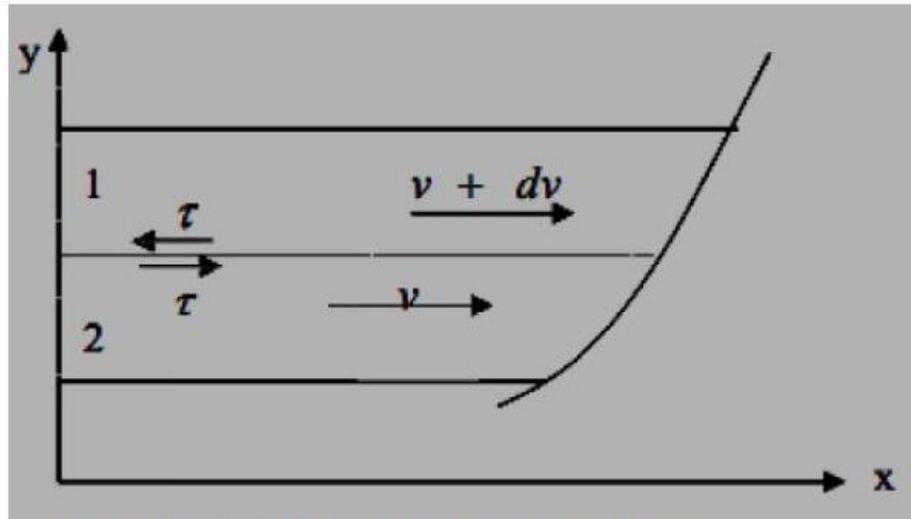
Aliran viskos dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam. Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel-partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.

2.2.1 Hukum Newton tentang Kekentalan

Kekentalan zat cair menyebabkan terbentuknya gaya-gaya geser antara 2 (dua) elemen. Keberadaan kekentalan ini menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran atau diperlukan energi untuk menjamin adanya pengaliran.

Dalam (Triatmojo, 1996: 2) tentang Hukum Newton tentang kekentalan menyatakan bahwa tegangan geser antara 2 (dua) partikel zat cair yang berdampingan adalah sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel (gradien kecepatan) seperti terlihat dalam Gambar 2.8 yang berbentuk:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (2.19)$$



Gambar 2.9 Definisi tegangan geser

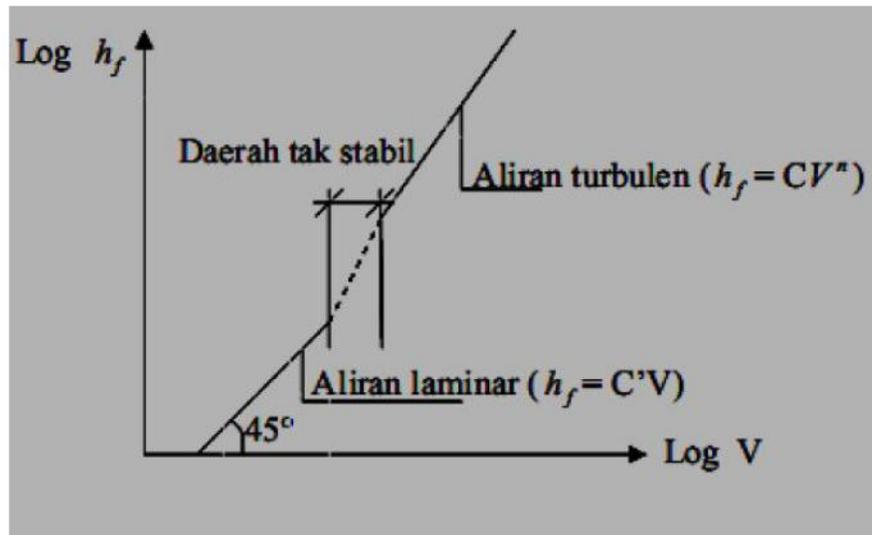
Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.19 dan Gambar 2.9, apabila 2 (dua) elemen zat cair yang berdampingan dan bergerak dengan kecepatan berbeda, elemen yang lebih cepat akan diperlambat dan yang lebih lambat akan dipercepat. Tegangan geser τ pada lapis 1 (satu) bagian bawah mempunyai arah ke kiri karena bagian tersebut tertahan oleh lapis di bawahnya yang mempunyai kecepatan lebih rendah. Sedangkan lapis 2 (dua) bagian atas bekerja tegangan geser dalam arah ke kanan karena bagian tersebut tertarik oleh lapis di atasnya yang mempunyai kecepatan lebih besar.

Pada permukaan antara dinding batas dan aliran zat cair juga terjadi tegangan geser dengan arah berlawanan dengan arah aliran. Tegangan geser pada dinding batas ini cukup besar karena gradien kecepatan di daerah tersebut sangat besar.

2.2.2 Hukum Tekanan Gesek

Dalam (Triatmojo, 1996: 5) Reynolds menetapkan hukum tekanan gesek dengan melakukan pengukuran kehilangan energi di dalam beberapa pipa dengan panjang berbeda dan untuk berbagai kecepatan aliran. Percobaan tersebut memberikan hasil berupa suatu grafik hubungan antara *head losses* (h_f) dan kecepatan

aliran (v). Gambar 2.10 menunjukkan kedua hubungan tersebut yang dibuat dalam skala logaritmik untuk diameter tertentu.



Gambar 2.10 Grafik *head losses* – kecepatan

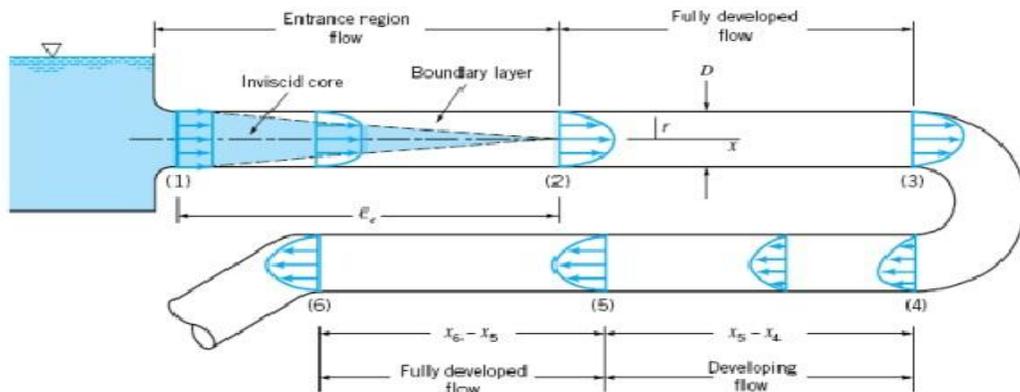
Bagian bawah dari Gambar 2.10 merupakan garis lurus, dengan kemiringan 45° , yang menunjukkan bahwa h_f sebanding dengan v , yang merupakan sifat aliran laminar. Sedang bagian atas merupakan garis lurus dengan kemiringan n , dengan n antara 1,75 dan 2,0 yang tergantung pada nilai Re dan kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa h_f sebanding dengan nilai v , nilai pangkat yang besar berlaku untuk pipa kasar sedang yang kecil untuk pipa halus. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kehilangan energi pada aliran turbulen lebih besar dari aliran laminar. Hal ini disebabkan karena adanya turbulensi yang dapat memperbesar kehilangan energi.

2.3 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*) dan diilustrasikan pada Gambar 2.11 Sebagaimana ditunjukkan pada gambar tersebut, fluida umumnya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Saat fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan

batas tanpa-slip). Hal ini berlaku baik jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscid ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) di mana efek viskos menjadi penting timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa (x), sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), di mana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x .

Lapisan batas semakin tebal sehingga memenuhi pipa secara menyeluruh. Efek viskos sangat penting di dalam lapisan batas. Untuk fluida di luar lapisan batas (di dalam inti inviscid/*inviscid core* yang mengelilingi garis sumbu dari (1) ke (2), efek viskos dapat diabaikan. Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada apakah aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk, l_e .



Gambar 2.11 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh pada sistem pipa. (Sumber *Munson, et al*, 2002)

Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, panjang masuk tak berdimensi, l_e/D , berkorelasi cukup baik dengan bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan oleh hubungan:

$$\frac{l_e}{D} = 0,06Re \text{ untuk aliran laminar}$$

Dan

$$\frac{l_e}{D} = 4,4(Re)^{1/4} \text{ untuk aliran turbulen}$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds sangat rendah panjang masuk dapat sangat pendek ($l_e = 0,6D$ jika $Re = 10$), sementara untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai ($l_e = 120D$ untuk $Re = 2000$). Untuk banyak masalah-masalah teknik praktis $10^4 < Re < 10^5$ sehingga $20D < l_e < 30D$.

Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (fully developed). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh pada bagian (4), aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuh (5) dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai (6).

2.4 Kehilangan Energi (*Head Losses*)

Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. Secara umum *head loss* dibagi menjadi dua macam, yaitu:

2.4.1 *Head Losses* Mayor

Kehilangan longitudinal, yang disebabkan oleh gesekan sepanjang lingkaran pipa. Ada beberapa persamaan yang dapat digunakan dalam menentukan kehilangan longitudinal h_f apabila panjang pipa L meter dan diameter d mengalirkan kecepatan rata-rata V . Menurut *White* (1986), salah satu persamaan yang dapat digunakan adalah Persamaan Darcy-Weisbach yaitu:

$$h_f = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana f = faktor gesekan (*Diagram Moody*)
 L = panjang pipa (m)
 d = diameter pipa (m)
 $V^2/2g$ = head kecepatan

2.4.2 Head Losses Minor

Untuk setiap sistem pipa, selain kerugian tipe moody yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang dinamakan kerugian kecil (kerugian minor). Kerugian kecil ini disebabkan hal antara lain lubang masuk atau lubang keluar pipa, pembesaran atau pengecilan secara tiba – tiba, belokan, sambungan, katup dan pengecilan dan pembesaran secara berangsur-angsur.

Karena pola aliran dalam katup maupun sambungan cukup rumit, teorinya sangat lemah. Kerugian ini biasanya diukur secara eksperimental dan dikorelasikan dengan parameter – parameter aliran dalam pipa. Kerugian kecil terukur biasanya diberikan sebagai nisbah kerugian hulu.

Belokan pada pipa menghasilkan kerugian head yang lebih besar dari pada jika pipa lurus. Kerugian-kerugian tersebut disebabkan daerah-daerah aliran yang terpisah didekat sisi dalam belokan (khususnya jika belokan tajam) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidak seimbangan gaya-gaya sentripetal akibat kelengkungan sumbu pipa.

Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung atau belokan patah (*mitten atau multipiece bend*). Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller (*Sularso, 1983*), dimana nilai dari koefisien kerugian dinyatakan sebagai:

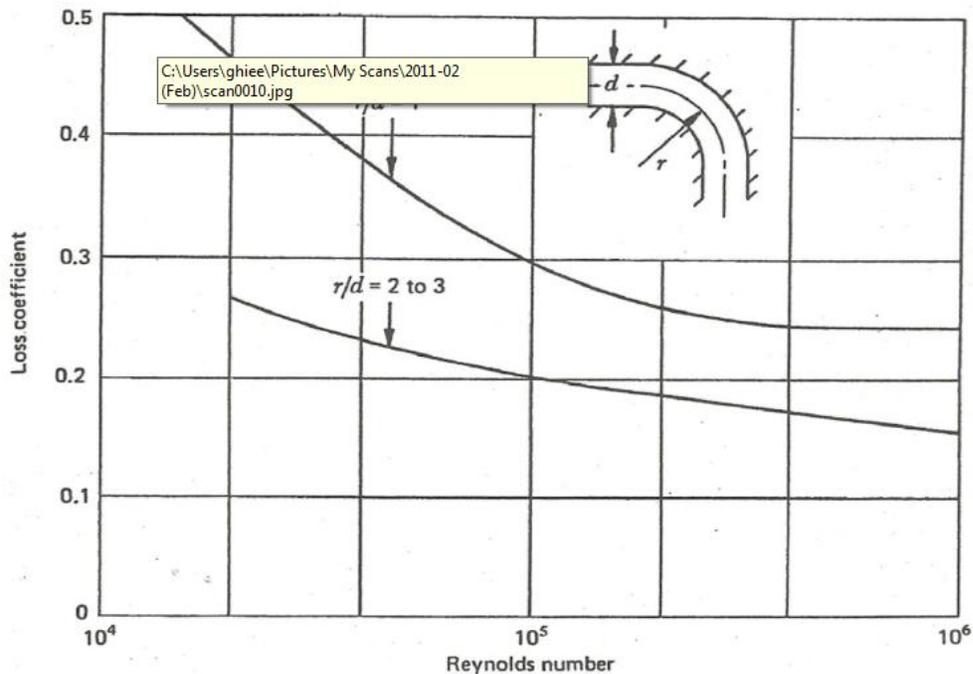
$$k_{kb} = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana k_{kb} = koefisien kerugian belokan
 D = diameter pipa (m)
 R = jari – jari belokan pipa (m)
 θ = sudut belokan (derajat)

Kemudian untuk mengetahui kerugian head dapat menggunakan persamaan di bawah ini (*White, 1986*):

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.23)$$

Berikut adalah gambar rerugi kelokan tambahan, dimana terjadi variasi koefisien kerugian karena pengaruh perubahan bilangan Reynoldsnya. Sebagaimana terlihat pada gambar 2.12, perbandingan jari-jari kelokan dengan diameter (r/d) juga mempengaruhi besar kerugiannya.



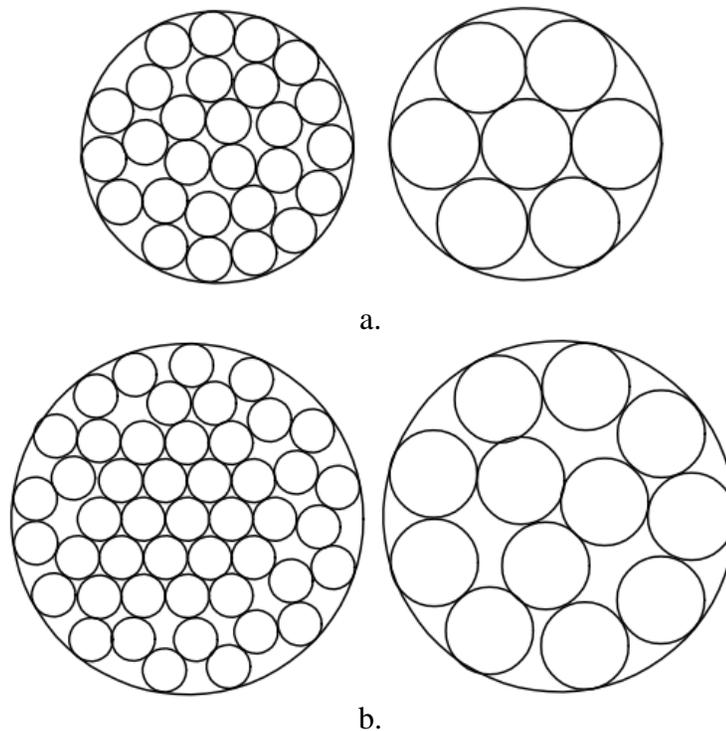
Gambar 2.12 Efek bilangan bilangan Reynolds terhadap koefisien kerugian pada elbow 90° (Sumber: Donald S. Miller, 1978)

2.5 Flow Conditioner

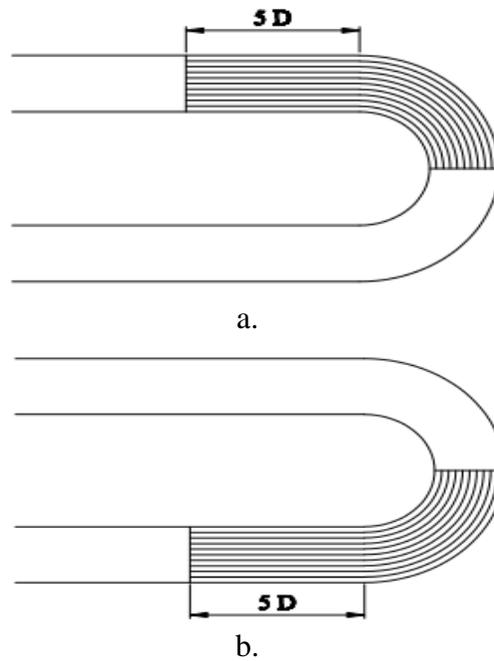
Menurut (James E, 2004) *flow conditioner* adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran suatu instalasi perpipaan sehingga dapat mengurangi turbulensi aliran. Alat ini mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas penampang, dan *orifice* dengan cara menghilangkan *vortex*. *Vortex* adalah suatu aliran dimana fluida tersebut partikelnya berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusat (Marine, 2012). *Vortex* dapat menimbulkan terjadinya separasi yang kemudian akan mengakibatkan penurunan tekanan yang besar. Menurut (James E, 2004) *flow conditioner* dibagi menjadi 3 tipe, yaitu 1) Tipe *flow conditioner* yang

hanya menghilangkan *swirl* (*tube bundle*), 2) Tipe *flow conditioner* yang menghilangkan *swirl* tetapi tidak sepenuhnya menghasilkan aliran berkembang, dan 3) *flow conditioner* yang menghilangkan *swirl* dan sepenuhnya menghasilkan aliran berkembang penuh (*high performance conditioner*). Dalam penelitian ini menggunakan *flow conditioner* jenis *tube bundle* dikarenakan jenis ini dapat dibuat sendiri dan harganya terjangkau serta cukup efektif mengatasi *vortex/swirl* yang terjadi akibat belokan.

Berikut adalah gambar bentuk pemasangan *tube bundle* pada pipa 1,5 inci dan 2 inci:



Gambar 2.13 a. pemasangan *tube bundle* pada pipa ukuran 1,5 inci, b. pemasangan *tube bundle* pada pipa 2 inci



Gambar 2.14 a. Pemasangan *tube bundle* sebelum belokan pipa, b. Pemasangan *tube bundle* setelah belokan pipa

2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka diatas, maka hipotesis dari penelitian ini adalah jika menggunakan *tube bundle* pada belokan 180°, maka akan mengurangi penurunan tekanan (*preassure drop*) yang terjadi akibat adanya *vortex* sehingga aliran akan laminer. Dan mengetahui penurunan *head losses* dengan penambahan variasi *non tube bundle*, *tube bundle* 0,25 inchi, dan *tube bundle* 0,5 inchi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh penggunaan variasi *tube bundle* terhadap penurunan *head losses* pada belokan pipa 180°.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan waktu penelitian berlangsung selama 2 bulan di mulai bulan April sampai Mei 2013.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat-alat pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Pompa air merk *sunrise* model: DB-125A dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - 1) *Maxcap* : 42 Lt/menit
 - 2) *Such Head* : 9 m
 - 3) *Dich Head* : 24 m
 - 4) *Total head* : 33 m
 - 5) Daya : 125 Watt
 - 6) RPM : 2850
- b. Pipa PVC : 1,5 inchi
- c. *Valve*
- d. *Flow meter* merk kondo N.B. *water meter*
- e. Manometer U
- f. Stopwatch

g. Tandon Air

3.3.2 Bahan

- a. Memakai fluida air
- b. Selang ukuran 0,25 inchi dan 0,5 inchi untuk *tube bundle*
- c. Belokan pipa 180° dengan R sama dengan 3 D

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang ketentuan nilainya bisa divariasikan yang banyaknya sesuai dengan keinginan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan dengan cara mengatur bukaan katup.
- b. Variasi diameter alat uji yang digunakan ada 2 macam yaitu diameter 1,5 inchi dan 2 inchi.
- c. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, yaitu sebagai berikut:
 - 1) Pengujian *head losses* pada belokan 180° dengan tidak menggunakan *tube bundel*
 - 2) Pengujian *head losses* pada belokan 180° dengan menggunakan *tube bundel* yang berdiameter 0,25 inchi sebelum belokan
 - 3) Pengujian *head losses* pada belokan 180° dengan menggunakan *tube bundel* yang berdiameter 0,25 inchi setelah belokan
 - 4) Pengujian *head losses* pada belokan 180° dengan menggunakan *tube bundel* yang berdiameter 0,5 inchi sebelum belokan
 - 5) Pengujian *head losses* pada belokan 180° dengan menggunakan *tube bundel* yang berdiameter 0,5 inchi setelah belokan

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang diperoleh dari pengujian *head losses* pada belokan pipa 180° adalah sebagai berikut:

- a. Nilai *head losses* (h_m)
- b. Nilai kecepatan fluida (v)
- c. Nilai kecepatan air (Q)
- d. Nilai tekanan fluida (P)

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian ini dilaksanakan terlebih dahulu mempersiapkan dan mengontrol alat dan bahan penelitian. Alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Pompa air dipasang sesuai dengan tempat yang diinginkan.
- b. Tandon air baik yang di bawah maupun yang diatas sudah dalam kondisi baik dan siap dipakai.
- c. Mempersiapkan manometer U yang akan dipergunakan untuk mengukur tekanan yang terjadi pada aliran fluida.
- d. Mempersiapkan *flow meter* dan memasangnya sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan.
- e. Mempersiapkan pipa 1,5 inchi dan 2 inchi serta merangkainya sesuai skema alat uji penelitian.
- f. Mempersiapkan air yang digunakan sebagai fluida penelitian.

3.5.2 Tahapan Penelitian

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian *head losses* pada belokan pipa 180° tanpa *tube bundle*

Pada pengujian ini tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Tahap Persiapan Pengambilan Data

Setelah proses penyusunan rangkaian alat uji sistem perpipaan sudah selesai, maka dilakukan percobaan atau pengecekan terlebih alat uji dahulu. Pengecekan ini dilakukan agar alat uji bekerja sesuai dengan prosedur yang diinginkan.

2) Tahap Pengambilan Data

Tahapan proses pengambilan data ini adalah sebagai berikut: mengatur kecepatan aliran *input* dan *output* agar sama, mencatat ketinggian tandon yang digunakan, menghitung kecepatan fluida, mencatat kecepatan aliran air, dan mencatat tekanan *input* dan *output*

b. Pengujian *head losses* pada belokan pipa 180° dengan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi

1) Tahap Persiapan Pengambilan Data

Menyiapkan belokan pipa 180° yang dipasang menggunakan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inchi kemudian dilakukan percobaan atau pengecekan terlebih alat uji dahulu. Pengecekan ini dilakukan agar alat uji bekerja sesuai dengan prosedur yang diinginkan.

2) Tahap Pengambilan Data

Tahapan proses pengambilan data ini adalah sebagai berikut: mengatur kecepatan aliran *input* dan *output* agar sama, mencatat ketinggian tandon yang digunakan, menghitung kecepatan fluida, mencatat kecepatan aliran air, dan mencatat tekanan *input* dan *output*.

c. Pengujian *head losses* pada belokan pipa 180° dengan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi

1) Tahap Persiapan Pengambilan Data

Menyiapkan belokan pipa 180° yang dipasang menggunakan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inchi kemudian dilakukan percobaan atau pengecekan terlebih alat uji dahulu. Pengecekan ini dilakukan agar alat uji bekerja sesuai dengan prosedur yang diinginkan.

2) Tahap Pengambilan Data

Tahapan proses pengambilan data ini adalah sebagai berikut: mengatur kecepatan aliran *input* dan *output* agar sama, mencatat ketinggian tandon yang digunakan, menghitung kecepatan fluida, mencatat kecepatan aliran air, dan mencatat tekanan *input* dan *output*.

3.5.3 Tahap Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pengujian *head losses* adalah sebagai berikut:

a. Pengambilan data untuk belokan pipa 180° ukuran pipa 1,5 inci

- 1) Tanpa menggunakan *tube bundle*
- 2) Menggunakan *tube bundle* 0,25 inci yang pelatakannya sebelum belokan pipa
- 3) Menggunakan *tube bundle* 0,25 inci yang pelatakannya setelah belokan pipa
- 4) Menggunakan *tube bundle* 0,5 inci yang pelatakannya sebelum belokan pipa
- 5) Menggunakan *tube bundle* 0,5 inci yang pelatakannya setelah belokan pipa

b. Pengambilan data untuk belokan pipa 180° ukuran pipa 2 inci

- 1) Tanpa menggunakan *tube bundle*
- 2) Menggunakan *tube bundle* 0,25 inci yang pelatakannya sebelum belokan pipa
- 3) Menggunakan *tube bundle* 0,25 inci yang pelatakannya setelah belokan pipa
- 4) Menggunakan *tube bundle* 0,5 inci yang pelatakannya sebelum belokan pipa
- 5) Menggunakan *tube bundle* 0,5 inci yang pelatakannya setelah belokan pipa

Berikut adalah tabel pengambilan data hasil pengujian.

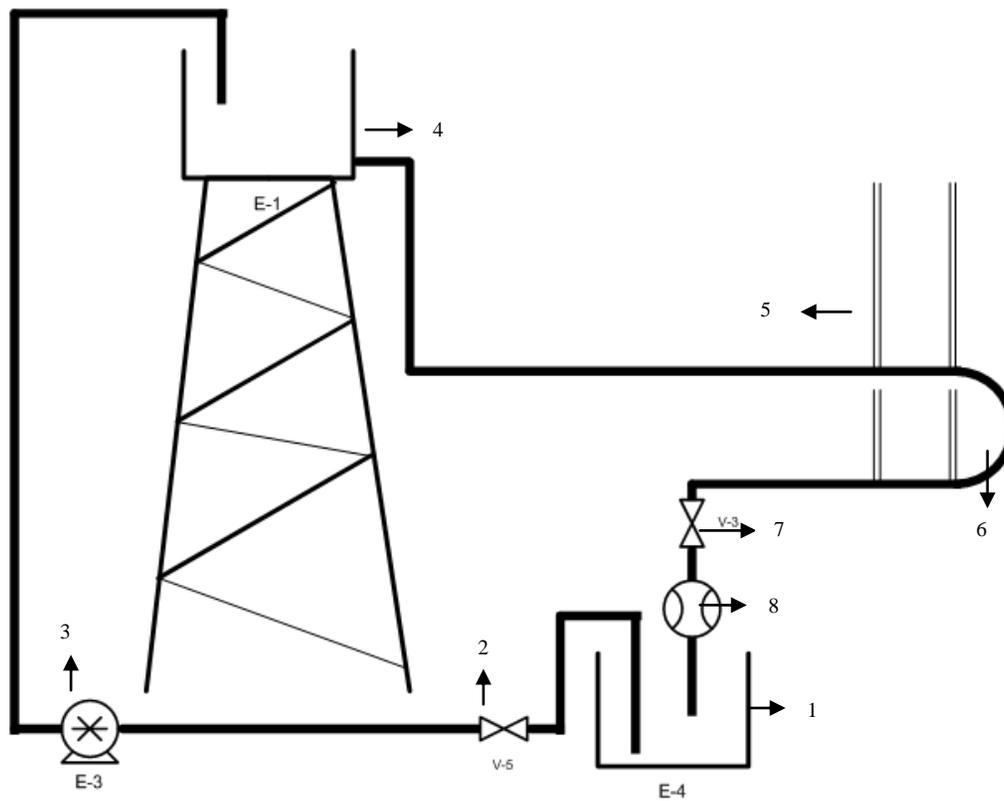
No	Q(m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	h ₄ (m)	h ₅ (m)
1						
2						
3						

3.5.4 Pengolahan Data

Dari hasil penelitian diperoleh nilai debit, ketinggian (h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , dan h_5) pada manometer. Dari hasil yang diperoleh tersebut dapat dijadikan sebagai dasar untuk menghitung tekanan (P), kecepatan (v), dan *head losses* (hm) sesuai dengan rumus-rumus yang telah ditentukan. Setelah diperoleh hasil dari perhitungan tersebut akan

dibandingkan dengan menggunakan grafik nilai tekanan, kecepatan, dan *head losses* tanpa pemakaian *tube bundle*, pemakaian *tube bundle* 0,25 inchi, dan pemakaian *tube bundle* 0,5 inchi yang dipasang sebelum maupun setelah belokan 180° .

3.6 Skema Alat Uji

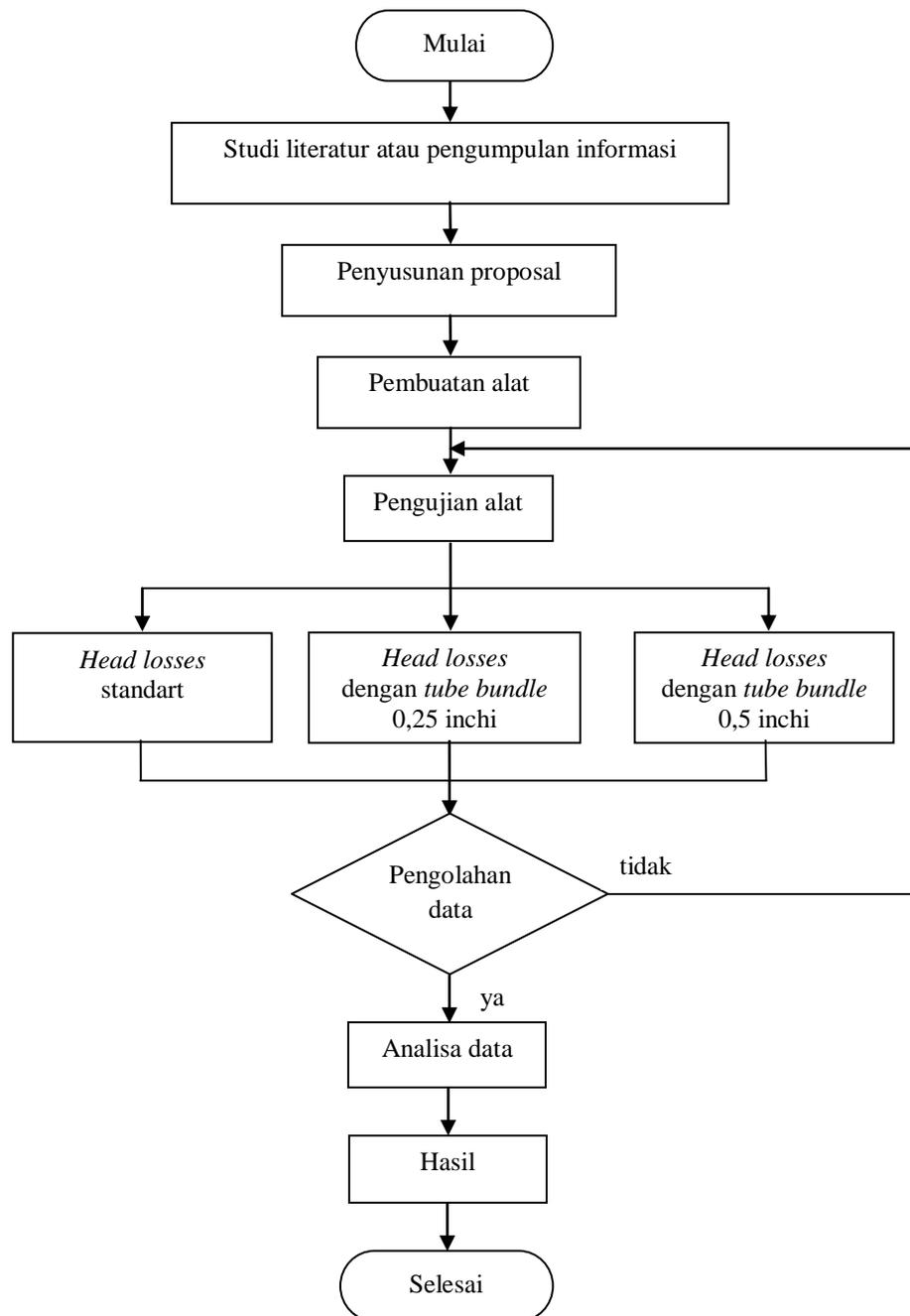


Gambar 3.1 Skema Alat uji

Keterangan:

1. Tandon bawah
2. *Valve input*
3. Pompa air
4. Tandon atas
5. Manometer
6. Belokan 180° (*return bend 180°*)
7. *Valve output*
8. *Flowmeter output*

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh penggunaan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inci dan 0,5 inci terhadap perubahan aliran fluida pada belokan 180°. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu memperoleh data atau informasi dan hasil yang maksimal dari pengaruh penggunaan variasi *tube bundle* tersebut. Hasil penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil penelitian pada pipa 1,5 inci *non tube bundle*

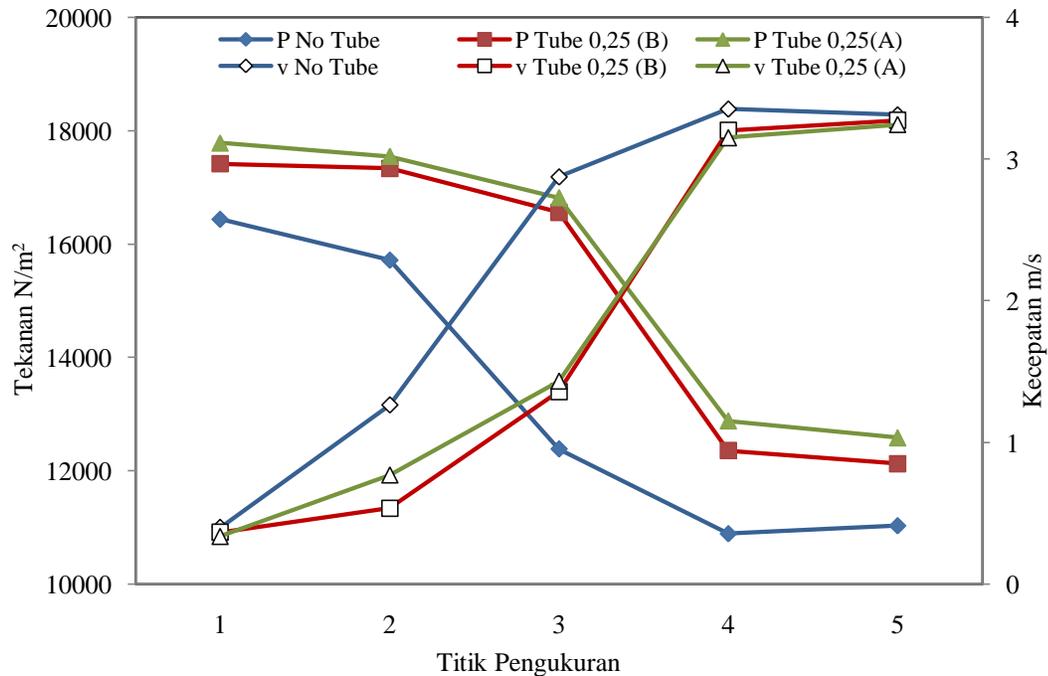
No	Q(m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	h ₄ (m)	h ₅ (m)
1	0,000253	0,012	0,013	0,017	0,018	0,029
	0,000259	0,013	0,014	0,016	0,023	0,032
	0,000260	0,011	0,012	0,015	0,022	0,032
2	0,001028	0,219	0,322	0,331	0,329	0,459
	0,001032	0,225	0,326	0,337	0,335	0,472
	0,001044	0,222	0,318	0,336	0,351	0,502
3	0,001819	0,344	0,431	0,764	0,898	0,893
	0,001814	0,357	0,423	0,759	0,912	0,903
	0,001822	0,367	0,430	0,762	0,923	0,895

Tabel 4.2 Hasil penelitian pada pipa 2 inci *non tube bundle*

No	Q(m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	h ₄ (m)	h ₅ (m)
1	0,000221	0,010	0,012	0,012	0,015	0,016
	0,000228	0,010	0,010	0,013	0,013	0,015
	0,000223	0,010	0,011	0,014	0,014	0,014
2	0,001087	0,063	0,179	0,183	0,191	0,196
	0,001097	0,069	0,182	0,187	0,196	0,199
	0,001089	0,071	0,180	0,186	0,190	0,105
3	0,002141	0,210	0,670	0,678	0,881	0,863
	0,002136	0,220	0,681	0,684	0,889	0,869
	0,002154	0,214	0,673	0,705	0,892	0,868

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Grafik kecepatan dan tekanan dengan pemasangan *tube bundle* pada aliran fluida dengan ukuran pipa 1,5 inci



Gambar 4.1 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci pipa 1,5 inci

Dari Gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 1 debit ke 3 adalah 16440 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,399 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17417 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,366 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17790 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,338 \text{ m/s}$.

Untuk nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 2 debit ke 3 adalah 15720 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,269 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 17340 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,536 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 adalah 17550 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,771 \text{ m/s}$.

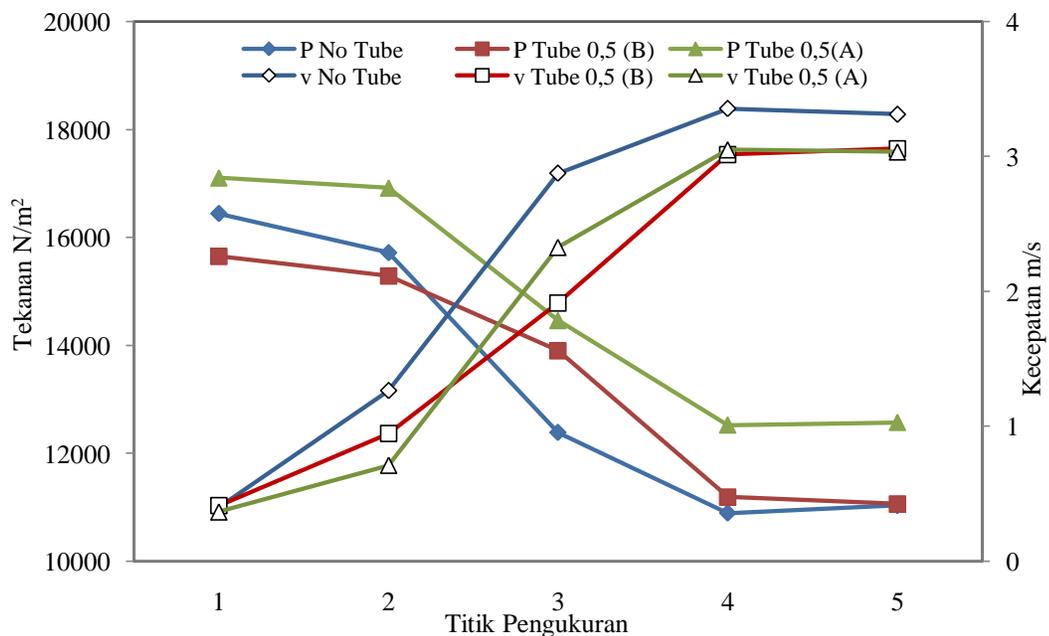
Kemudian nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 3 debit ke 3 adalah 12383 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,876 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 adalah 16560 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,359 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 adalah 16820 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,433 \text{ m/s}$.

Selanjutnya nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 4 debit ke 3 adalah 10890 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,355 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 12353 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,203 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 12877 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,153 \text{ m/s}$.

Dan nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 5 adalah 11030 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,313 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 adalah 12125 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,274 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 adalah 12583 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,245 \text{ m/s}$. Kenaikan tekanan pada pemasangan *tube bundle* $0,25$ inci sebelum belokan adalah sebesar 1095 N/m^2 dan setelah belokan sebesar 1553 N/m^2 .

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan tekanan drastis pada titik 2 ke titik 3. Hal ini dikarenakan terjadinya turbulensi aliran akibat belokan sehingga kecepatan akan meningkat. Sedangkan dengan pemasangan *tube bundle* penurunan tekanan yang drastis terjadi pada titik 3 ke titik 4. Hal tersebut dikarenakan terjadinya turbulensi aliran yang terjadi sebelum *tube bundle*. Meskipun demikian terjadi kenaikan tekanan pada aliran dengan pemasangan *tube bundle* yang ditandai bergesernya grafik ke arah kanan atas dari grafik aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180°.

Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Fakta tersebut sesuai dengan hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa apabila tekanan aliran fluida pada pipa memiliki nilai besar maka nilai kecepatan akan turun dan sebaliknya apabila nilai tekanan turun maka nilai kecepatan akan naik. Sehingga dengan adanya penurunan kecepatan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan.



Gambar 4.2 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,5 inci pipa 1,5 inci

Dari Gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 1 debit ke 3 adalah 16440 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,399 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 15650 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,411 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17105 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,366 \text{ m/s}$.

Untuk nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 2 debit ke 3 adalah 15720 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,265 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 15287 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,946 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 16920 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,710 \text{ m/s}$.

Kemudian nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 3 debit ke 3 adalah 12383 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,876 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 13903 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,914 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 14463 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,328 \text{ m/s}$.

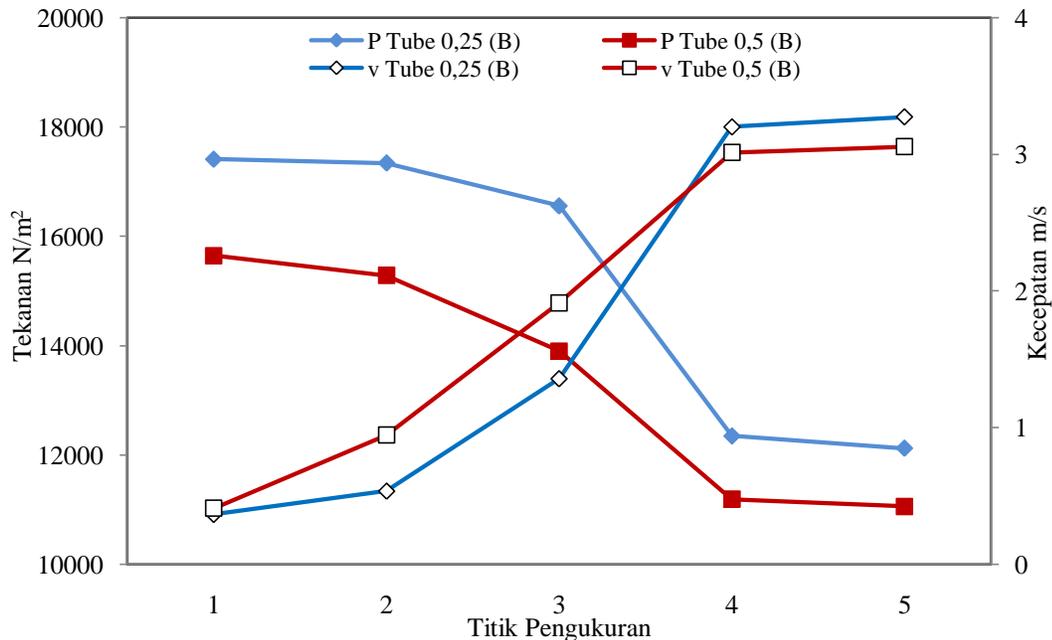
Selanjutnya nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 4 debit ke 3 adalah 10890 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,355 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 11190 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai

3,015 m/s. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 12520 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai 3,050 m/s.

Dan nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 5 debit ke 3 adalah 11030 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai 3,313 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 11060 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai 3,058 m/s. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 12457 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai 3,035 m/s. Kenaikan tekanan pada pemasangan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan adalah sebesar 30 N/m^2 dan setelah belokan sebesar 1427 N/m^2 .

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan tekanan drastis pada titik 2 ke titik 3. Hal ini dikarenakan terjadinya turbulensi aliran akibat belokan sehingga kecepatan akan meningkat. Sedangkan dengan pemasangan *tube bundle* penurunan tekanan yang drastis terjadi pada titik 3 ke titik 4. Hal tersebut dikarenakan terjadinya turbulensi aliran yang terjadi sebelum *tube bundle*. Meskipun demikian terjadi kenaikan tekanan pada aliran dengan pemasangan *tube bundle* yang ditandai bergesernya grafik ke arah kanan atas dari grafik aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° .

Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Fakta tersebut sesuai dengan hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa apabila tekanan aliran fluida pada pipa memiliki nilai besar maka nilai kecepatan akan turun dan sebaliknya apabila nilai tekanan turun maka nilai kecepatan akan naik. Sehingga dengan adanya penurunan kecepatan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan.



Gambar 4.3 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci sebelum belokan dan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan pipa 1,5 inci

Dari Gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 1 debit ke 3 adalah 17417 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,366 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 adalah 15650 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,411 m/s.

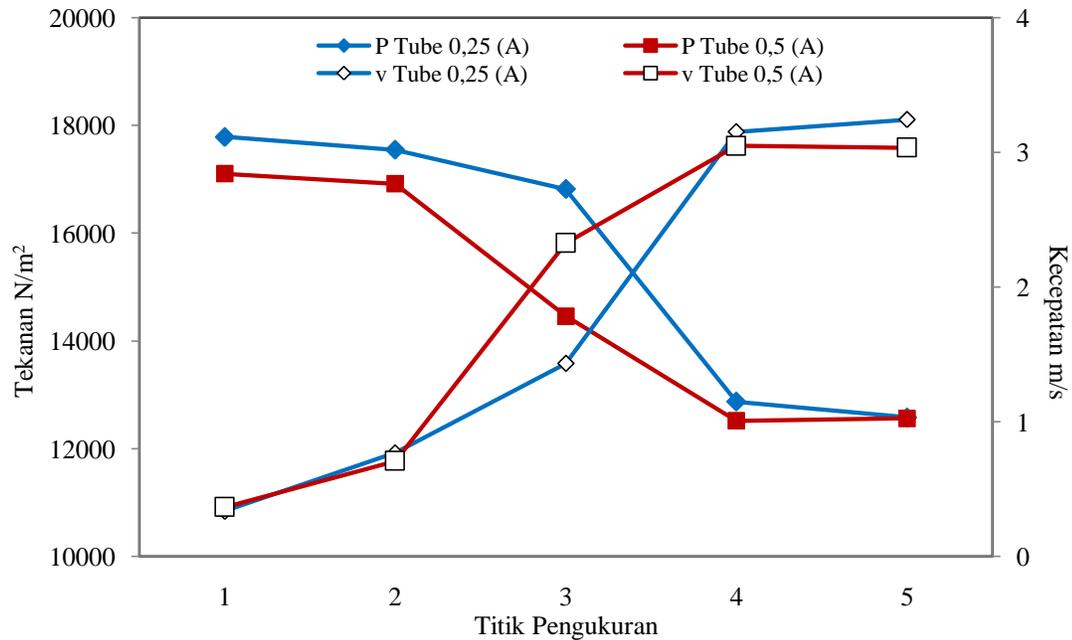
Untuk nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 2 debit ke 3 adalah 17340 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,536 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 15287 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,946 m/s.

Kemudian nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 3 debit ke 3 adalah 16560 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,359 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 13903 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,914 \text{ m/s}$.

Selanjutnya nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 4 debit ke 3 adalah 12353 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,203 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 11190 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,015 \text{ m/s}$.

Dan Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 5 debit ke 3 adalah 12125 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,247 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 11060 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,058 \text{ m/s}$.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dapat meningkatkan nilai tekanan yang dibandingkan dengan nilai tekanan pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° . Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Sehingga dengan adanya penurunan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan yang diakibatkan aliran turbulen yang ditandai dengan kecepatan yang tinggi.



Gambar 4.4 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci setelah belokan dan *tube bundle* 0,5 inci setelah belokan pipa 1,5 inci

Dari Gambar 4.4 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 1 debit ke 3 adalah 17790 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,338 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17105 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,366 m/s.

Untuk nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 2 debit ke 3 adalah 17550 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,771 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 16920 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,710 m/s.

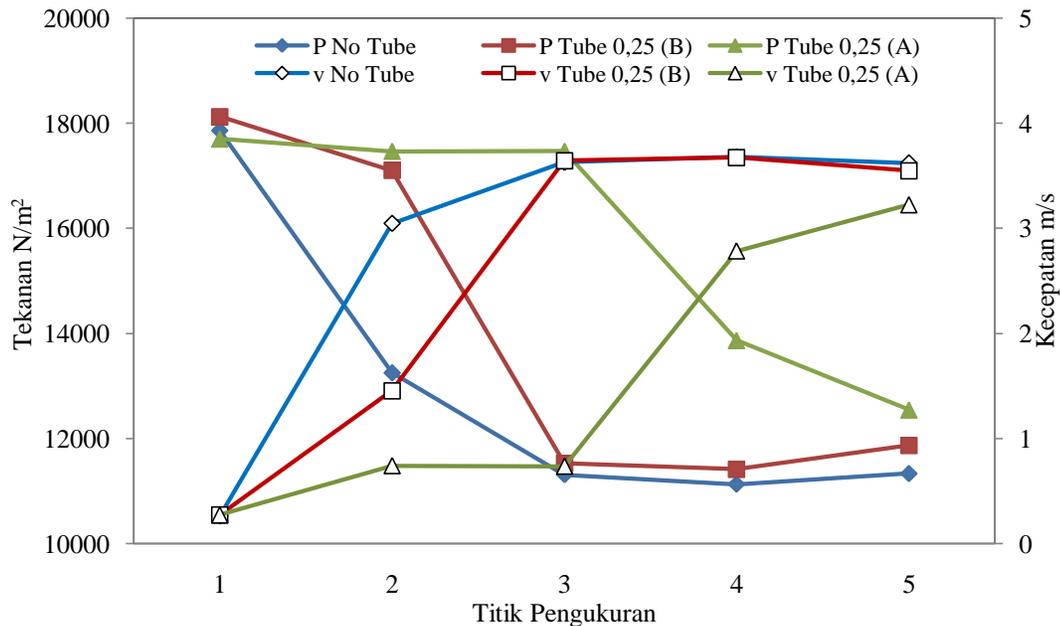
Kemudian nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 3 debit ke 3 adalah 16820 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,433 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 14463 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,328 \text{ m/s}$.

Selanjutnya nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 4 debit ke 3 adalah 12877 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,153 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 12520 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,050 \text{ m/s}$.

Dan Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 5 debit ke 3 adalah 12583 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,245 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 adalah 12457 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,035 \text{ m/s}$.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dapat meningkatkan nilai tekanan yang dibandingkan dengan nilai tekanan pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° . Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Sehingga dengan adanya penurunan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan yang diakibatkan aliran turbulen yang ditandai dengan kecepatan yang tinggi.

4.2.2 Grafik kecepatan dan tekanan dengan pemasangan *tube bundle* pada aliran fluida dengan ukuran pipa 2 inci



Gambar 4.5 Grafik tekanan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci pipa 2 inci

Dari Gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 1 debit ke 3 adalah 17853 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,265 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 18120 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,274 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17700 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,274 \text{ m/s}$.

Untuk nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 2 debit ke 3 adalah 13253 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,045 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan sebelum belokan 180°

pada titik 2 debit ke 3 adalah 17100 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,454 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 17463 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,741 \text{ m/s}$.

Kemudian nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 3 adalah 11310 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,627 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 adalah 11527 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,642 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 adalah 17467 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,736 \text{ m/s}$.

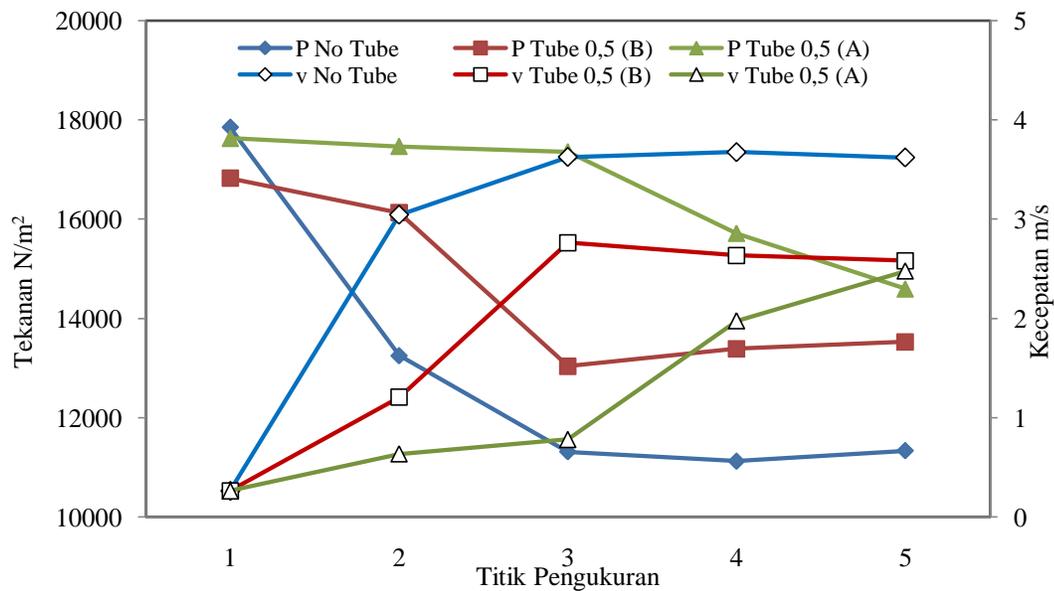
Selanjutnya nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 4 debit ke 3 adalah 11127 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,677 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 11417 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,672 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 13867 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,782 \text{ m/s}$.

Dan nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 5 debit ke 3 adalah 11333 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,621 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 11870 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,546 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,25$ inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 12543 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,223 \text{ m/s}$. Kenaikan tekanan pada pemasangan *tube bundle* $0,25$ inci sebelum belokan adalah sebesar 537 N/m^2 dan setelah belokan sebesar 11210 N/m^2 .

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan tekanan drastis pada titik 2 ke titik 3. Hal ini dikarenakan terjadinya turbulensi aliran akibat belokan

sehingga kecepatan akan meningkat. Sedangkan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 inchi sebelum belokan terjadi penurunan tekanan yang drastis terjadi pada titik 2 ke titik 3. Hal tersebut dikarenakan terjadinya turbulensi aliran yang terjadi sebelum *tube bundle* sehingga kecepatan semakin tinggi. Sedangkan pada pemasangan *tube bundle* 0,25 inchi setelah belokan terjadi penurunan tekanan yang drastis pada titik 3 ke titik 4 akibat peningkatan kecepatan dan turbelensi semakin tinggi. Meskipun demikian terjadi kenaikan tekanan pada aliran dengan pemasangan *tube bundle* yang ditandai bergesernya grafik ke arah kanan atas dari grafik aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180°.

Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Fakta tersebut sesuai dengan hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa apabila tekanan aliran fluida pada pipa memiliki nilai besar maka nilai kecepatan akan turun dan sebaliknya apabila nilai tekanan turun maka nilai kecepatan akan naik. Sehingga dengan adanya penurunan kecepatan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan.



Gambar 4.6 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,5 inchi pipa 2 inchi

Dari Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 1 debit ke 3 adalah 17853 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,265 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 16827 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,263 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17633 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,265 \text{ m/s}$.

Untuk nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 2 debit ke 3 adalah 13253 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,045 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 16133 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,207 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 17467 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,634 \text{ m/s}$.

Kemudian nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 3 debit ke 3 adalah 11310 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,627 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 13040 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,765 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 17363 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,781 \text{ m/s}$.

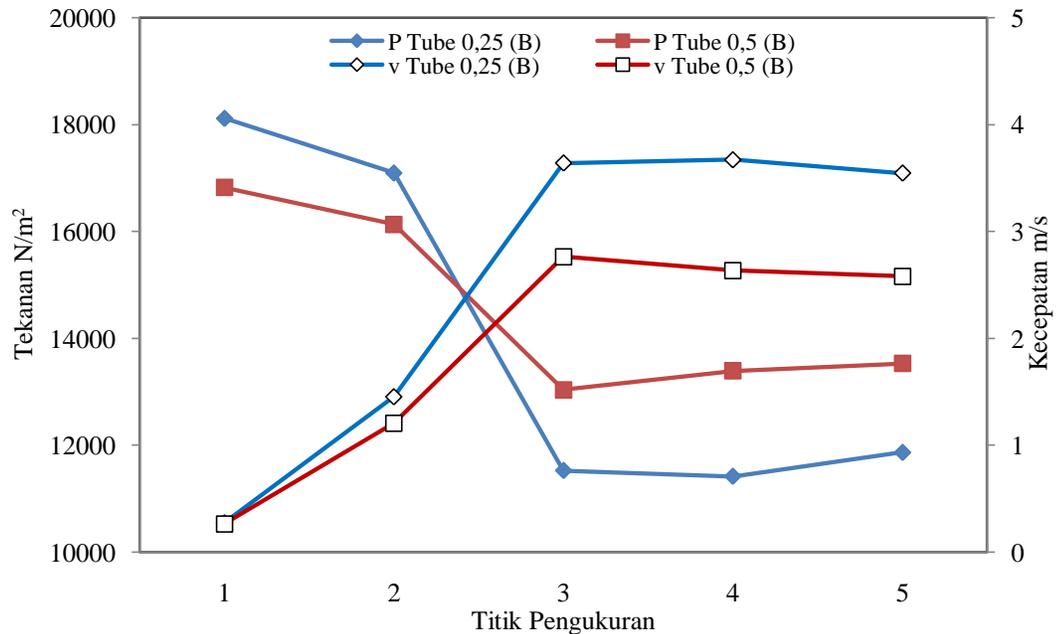
Selanjutnya nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 4 debit ke 3 adalah 11127 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,677 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$ yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 13390 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,635 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran $0,5 \text{ inchi}$

yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 15717 N/m^2 dan kecepataannya memiliki nilai $1,975 \text{ m/s}$.

Dan nilai tekanan tanpa pemasangan *tube bundle* pada titik 5 debit ke 3 adalah 11333 N/m^2 dan kecepataannya memiliki nilai $3,621 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 13530 N/m^2 dan kecepataannya memiliki nilai $2,581 \text{ m/s}$. Sedangkan nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 14600 N/m^2 dan kecepataannya memiliki nilai $2,477 \text{ m/s}$. Kenaikan tekanan pada pemasangan *tube bundle* 0,25 inci sebelum belokan adalah sebesar 2197 N/m^2 dan setelah belokan sebesar 3267 N/m^2 .

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan tekanan drastis pada titik 2 ke titik 3. Hal ini dikarenakan terjadinya turbulensi aliran akibat belokan sehingga kecepatan akan meningkat. Sedangkan dengan pemasangan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan terjadi penurunan tekanan yang drastis terjadi pada titik 2 ke titik 3. Hal tersebut dikarenakan terjadinya turbulensi aliran yang terjadi sebelum *tube bundle* sehingga kecepatan semakin tinggi. Sedangkan pada pemasangan *tube bundle* 0,5 inci setelah belokan terjadi penurunan tekanan yang drastis pada titik 3 ke titik 4 akibat peningkatan kecepatan dan turbulensi semakin tinggi. Meskipun demikian terjadi kenaikan tekanan pada aliran dengan pemasangan *tube bundle* yang ditandai bergesernya grafik ke arah kanan atas dari grafik aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° .

Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Fakta tersebut sesuai dengan hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa apabila tekanan aliran fluida pada pipa memiliki nilai besar maka nilai kecepatan akan turun dan sebaliknya apabila nilai tekanan turun maka nilai kecepatan akan naik. Sehingga dengan adanya penurunan kecepatan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan.



Gambar 4.7 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci sebelum belokan dan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan pipa 2 inci

Dari Gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 1 debit ke 3 adalah 18120 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,274 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 16827 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,263 m/s.

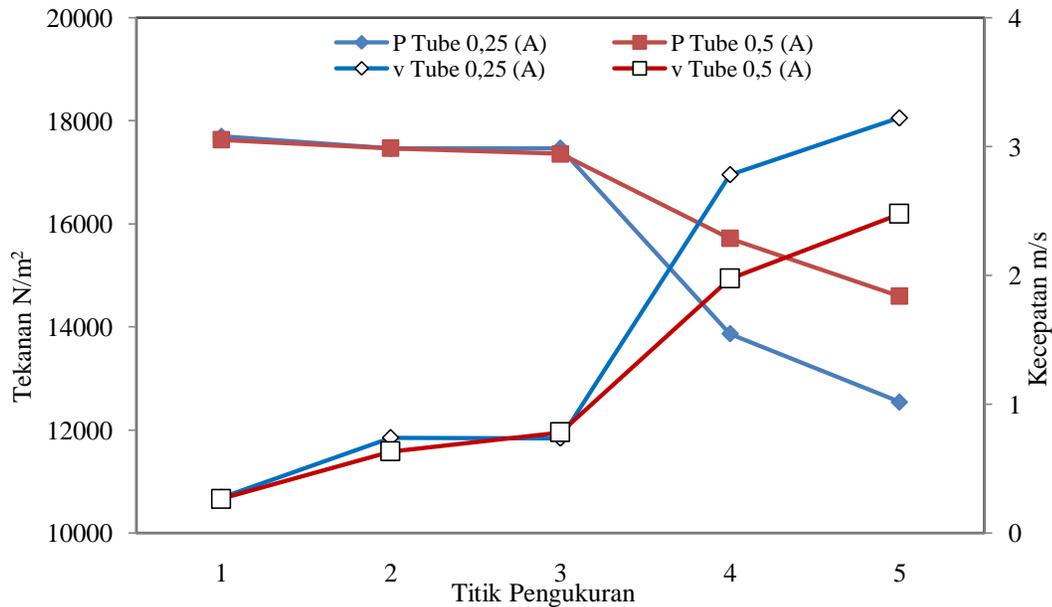
Untuk nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 2 debit ke 3 adalah 17100 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 1,454 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 16133 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 1,207 m/s.

Kemudian nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 3 debit ke 3 adalah 11527 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,642 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 13040 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,765 \text{ m/s}$.

Selanjutnya nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 4 debit ke 3 adalah 11417 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,672 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 13390 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,635 \text{ m/s}$.

Dan Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 sebelum belokan pada titik 5 debit ke 3 adalah 12970 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,546 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 13530 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,581 \text{ m/s}$.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dapat meningkatkan nilai tekanan yang dibandingkan dengan nilai tekanan pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° . Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Sehingga dengan adanya penurunan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan yang diakibatkan aliran turbulen yang ditandai dengan kecepatan yang tinggi.



Gambar 4.8 Grafik tekanan dan kecepatan fluida pada setiap titik dengan menggunakan *tube bundle* 0,25 inci setelah belokan dan *tube bundle* 0,5 inci setelah belokan pipa 2 inci

Dari Gambar 4.8 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding terbalik dengan tekanan. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai tekanan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai tekanan akan rendah. Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 1 debit ke 3 adalah 17700 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,274 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 1 debit ke 3 adalah 17633 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,265 m/s.

Untuk nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 2 debit ke 3 adalah 17463 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,741 m/s. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 2 debit ke 3 adalah 17467 N/m² dan kecepatannya memiliki nilai 0,634 m/s.

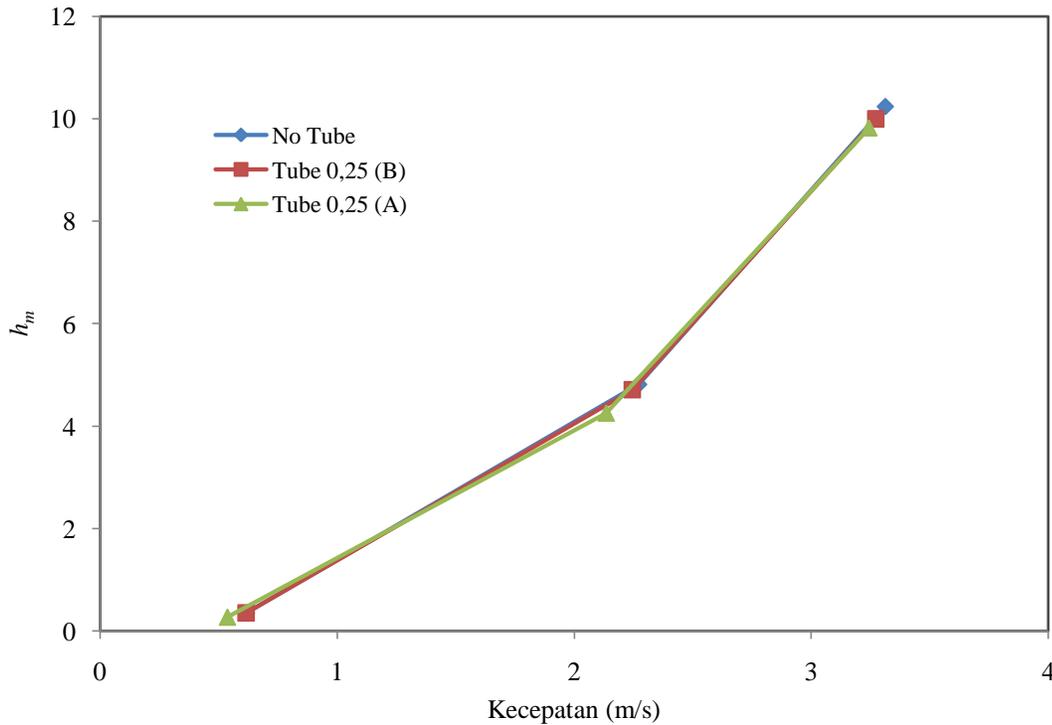
Kemudian nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 3 debit ke 3 adalah 17467 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,736 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 3 debit ke 3 adalah 17363 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $0,781 \text{ m/s}$.

Selanjutnya nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 4 debit ke 3 adalah 13867 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,782 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 4 debit ke 3 adalah 15717 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $1,975 \text{ m/s}$.

Dan Nilai tekanan dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 setelah belokan pada titik 5 debit ke 3 adalah 12543 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $3,223 \text{ m/s}$. Untuk tekanan dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada titik 5 debit ke 3 adalah 14600 N/m^2 dan kecepatannya memiliki nilai $2,477 \text{ m/s}$.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dapat meningkatkan nilai tekanan yang dibandingkan dengan nilai tekanan pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan alat ini dapat mengurangi kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya belokan 180° . Dengan tekanan yang semakin tinggi maka diikuti dengan penurunan nilai kecepatan aliran. Sehingga dengan adanya penurunan ini dapat mengurangi kerugian kerusakan instalasi perpipaan yang diakibatkan aliran turbulen yang ditandai dengan kecepatan yang tinggi.

4.2.3 Grafik Perbandingan pengaruh kecepatan terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* pada aliran fluida dengan ukuran pipa 1,5 inchi



Gambar 4.9 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 inchi pada pipa 1,5 inchi

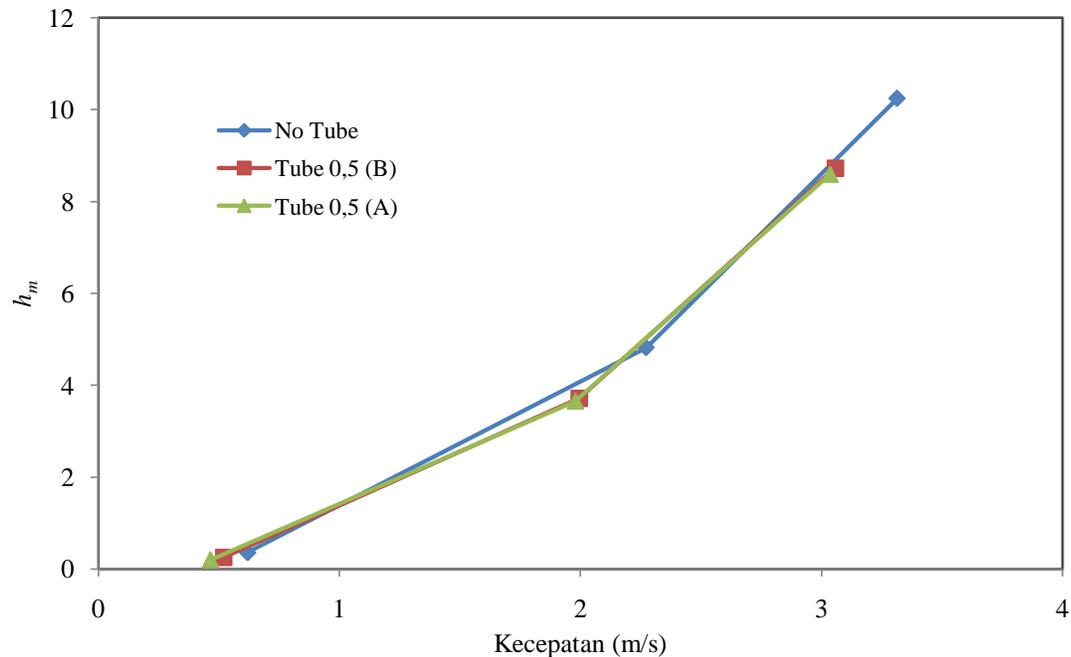
Dari Gambar 4.9 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding lurus dengan *head losses*. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai *head losses* akan rendah dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai *head losses* akan tinggi pula. Nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 3,313 m/s memiliki nilai 10,247 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 3,274 m/s memiliki nilai 10,003 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 3,245 m/s memiliki nilai 9,826 m.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 2,273 m/s memiliki nilai 4,821 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25

inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 2,246 m/s memiliki nilai 4,710 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 2,135 m/s memiliki nilai 4,256 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 0,619 m/s memiliki nilai 0,358 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 0,616 m/s memiliki nilai 0,354 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 0,539 m/s memiliki nilai 0,271 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inci dapat menurunkan *head losses* yang terjadi pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Nilai penurunan *head losses* yang paling baik pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan yang dikarenakan tidak sempat terbentuknya aliran turbulen dan *vortex* yang merupakan efek dari alat ini.



Gambar 4.10 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* 0,5 inci pada pipa 1,5 inci

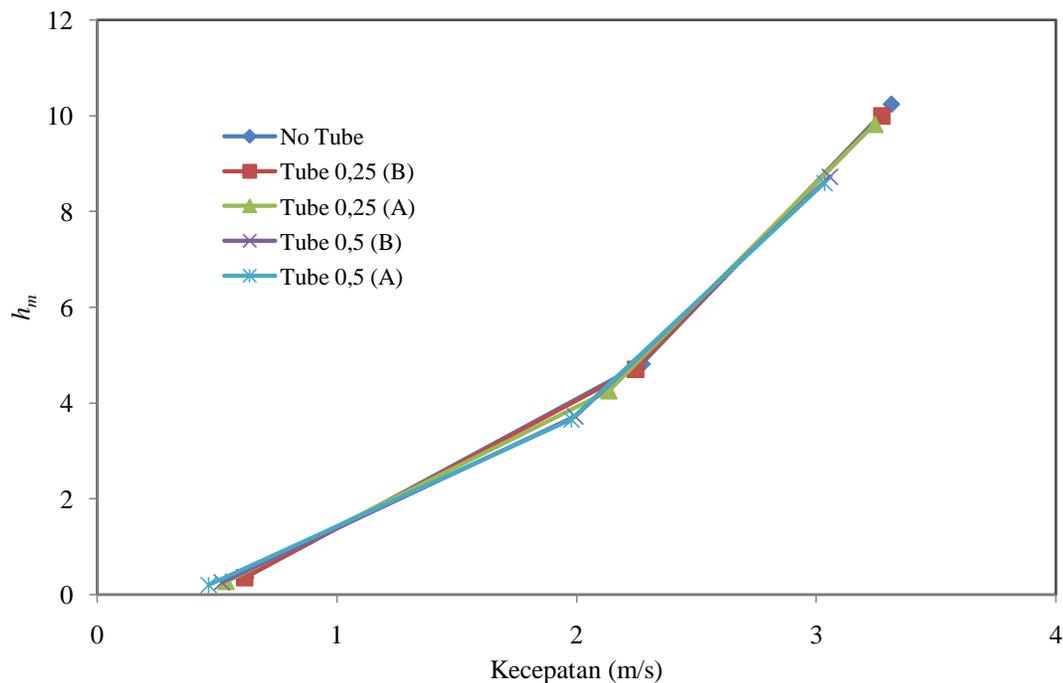
Dari Gambar 4.10 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding lurus dengan *head losses*. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai *head losses* akan rendah dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai *head losses* akan tinggi pula. Nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 3,313 m³/s memiliki nilai 10,247 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 3,058 m/s memiliki nilai 8,725 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 3,035 m³/s memiliki nilai 8,595 m.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 2,273 m/s memiliki nilai 4,821 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 1,966 m/s memiliki nilai 3,718 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 1,978 m/s memiliki nilai 3,653 m.

Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 0,619 m/s memiliki nilai 0,358 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 0,521 m/s memiliki nilai 0,253 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 0,465 m/s memiliki nilai 0,202 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

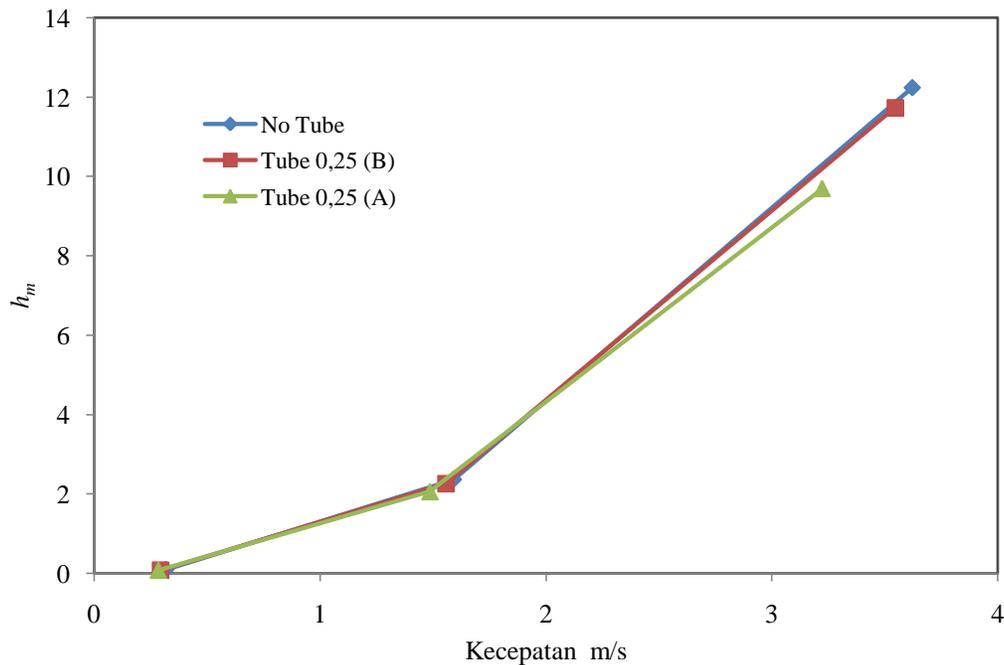
Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dengan ukuran 0,5 inci dapat menurunkan *head losses* yang terjadi pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Nilai penurunan *head losses* yang paling baik pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan yang dikarenakan tidak sempat terbentuknya aliran turbulen dan *vortex* yang merupakan efek dari alat ini.



Gambar 4.11 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* pada pipa 1,5 inci

Dilihat dari beberapa kesimpulan di atas dapat ditarik kesimpulan akhir bahwa dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang di pasang setelah belokan 180° memiliki nilai *head losses* (h_m) yang paling rendah yaitu dengan nilai 8,595 m pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan 180° dengan ukuran 0,5 inci. Hal ini membuktikan bahwa dengan pemasangan alat ini dapat menurunkan kerugian *head* yang terjadi pada belokan 180° .

4.2.4 Perbandingan pengaruh kecepatan terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* pada aliran fluida dengan ukuran pipa 2 inci



Gambar 4.12 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* 0,25 inci pada pipa 2 inci

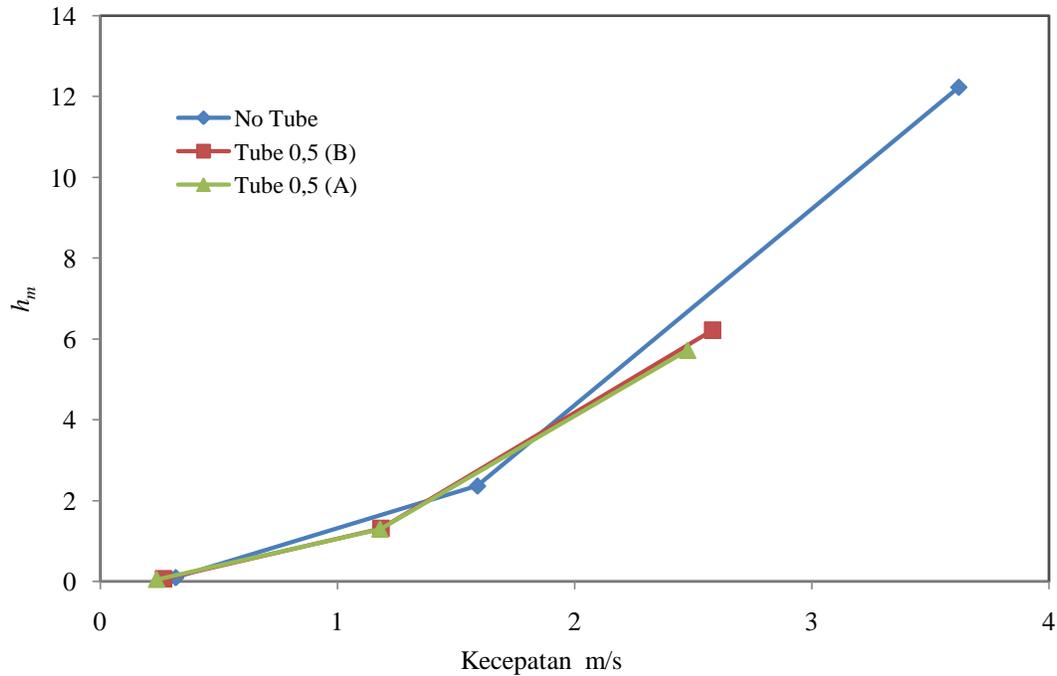
Dari Gambar 4.12 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding lurus dengan *head losses*. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai *head losses* akan rendah dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai *head losses* akan tinggi pula. Nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 3,621 m/s memiliki nilai 12,235 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inci yang diletakkan sebelum belokan 180°

pada kecepatan 3,546 m/s memiliki nilai 11,736 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 3,223 m/s memiliki nilai 9,696 m.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 1,591 m/s memiliki nilai 2,361 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 1,558 m/s memiliki nilai 2,264 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 1,486 m/s memiliki nilai 2,062 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 0,317 m/s memiliki nilai 0,094 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 0,295 m/s memiliki nilai 0,081 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 0,284 m/s memiliki nilai 0,075 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inchi dapat menurunkan *head losses* yang terjadi pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Nilai penurunan *head losses* yang paling baik pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan yang dikarenakan tidak sempat terbentuknya aliran turbulen dan *vortex* yang merupakan efek dari alat ini.



Gambar 4.13 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* 0,5 inci pada pipa 2 inci

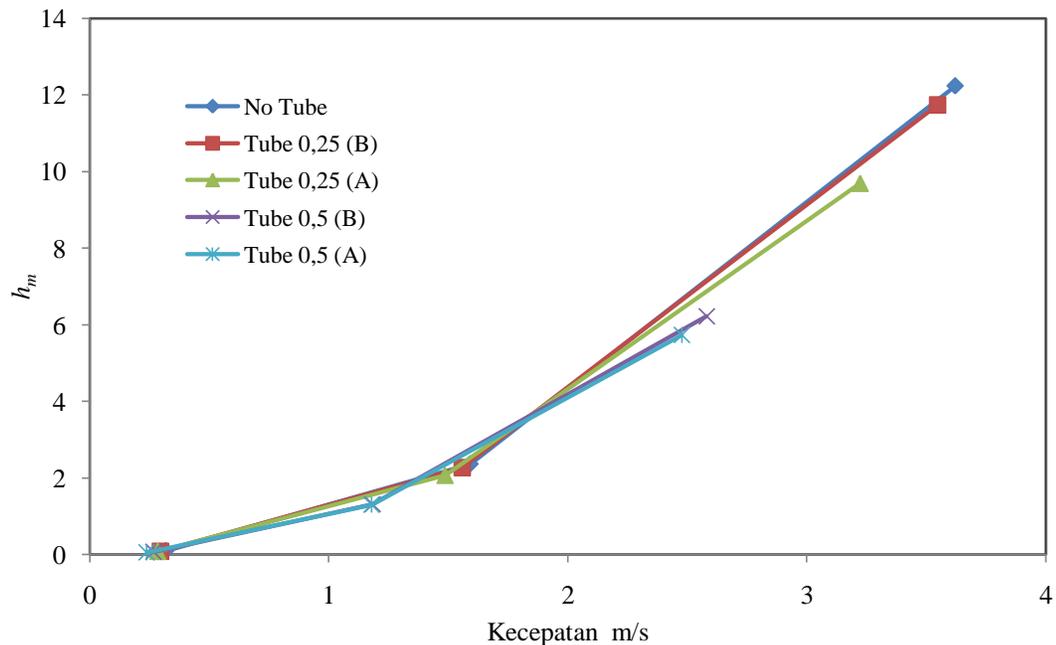
Dari Gambar 4.13 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida berbanding lurus dengan *head losses*. Hal tersebut dapat diartikan apabila nilai kecepatan fluida rendah maka nilai *head losses* akan rendah dan sebaliknya apabila nilai kecepatan tinggi maka nilai *head losses* akan tinggi pula. Nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 3,621 m/s memiliki nilai 12,233 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 2,581 m/s memiliki nilai 6,219 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 2,477 m/s memiliki nilai 5,727 m.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 1,591 m/s memiliki nilai 2,361 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 1,183 m/s memiliki nilai 1,306 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 1,180 m/s memiliki nilai 1,299 m.

Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Untuk nilai *head losses* (h_m) tanpa pemasangan *tube bundle* pada kecepatan 0,317 m/s memiliki nilai 0,094 m. Untuk h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan sebelum belokan 180° pada kecepatan 0,266 m/s memiliki nilai 0,066 m. Sedangkan nilai h_m dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inci yang diletakkan setelah belokan 180° pada kecepatan 0,238 m/s memiliki nilai 0,053 m. Sehingga pemasangan *tube bundle* setelah belokan lebih baik daripada pemasangan sebelum belokan.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan pemasangan *tube bundle* dengan ukuran 0,25 inci dapat menurunkan *head losses* yang terjadi pada aliran fluida tanpa pemasangan *tube bundle*. Nilai penurunan *head losses* yang paling baik pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan yang dikarenakan tidak sempit terbentuknya aliran turbulen dan *vortex* yang merupakan efek dari alat ini.



Gambar 4.14 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap *head losses* dengan pemasangan *tube bundle* pada pipa 2 inci

Dilihat dari beberapa kesimpulan di atas dapat ditarik kesimpulan akhir bahwa dengan pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang di pasang setelah belokan 180° memiliki nilai *head losses* (h_m) yang paling rendah yaitu dengan nilai 5,727 m pada pemasangan *tube bundle* setelah belokan 180° dengan ukuran 0,5 inchi. Hal ini membuktikan bahwa dengan pemasangan alat ini dapat menurunkan kerugian *head* yang terjadi pada belokan 180° .

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian penurunan *head losses* pada belokan 180° dengan variasi non *tube bundle*, *tube bundle* 0,25 inchi, dan *tube bundle* 0,5 inchi ini yaitu:

1. Pengaruh penambahan *tube bundle* ukuran 0,25 inchi dan 0,5 inchi yang dipasang sebelum maupun setelah belokan 180° akan menurunkan nilai kecepatan fluida yang diikuti dengan penurunan *head losses* serta akan menaikkan nilai tekanan fluida, sehingga pengaruh penurunan tekanan akibat belokan tersebut dapat diturunkan.
2. Nilai penurunan *head losses* yang tinggi yaitu pada pemasangan *tube bundle* ukuran 0,5 inchi yang diletakkan setelah belokan 180° dengan nilai 8,595 m dengan debit $0,001667 \text{ m}^3/\text{s}$ pada ukuran pipa 1,5 inci dan 5,727 m dengan debit $0,002144 \text{ m}^3/\text{s}$ pada ukuran pipa 2 inchi.
3. Hubungan antara tekanan dan kecepatan fluida adalah berbanding terbalik yang artinya apabila nilai tekanan rendah maka nilai kecepatan akan tinggi dan sebaliknya apabila nilai tekanan tinggi maka nilai kecepatan akan rendah.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Untuk dapat mengkondisikan antara aliran *input* dengan *output* sama maka digunakan pompa dengan kapasitas pengisian ke dalam tandon lebih besar dibandingkan keluarannya. Sehingga dapat mengatur pengisian ke dalam tandon yang disesuaikan dengan keluarannya.
2. Untuk penelitian selanjutnya penggunaan fluida air dirasa kurang efektif dan efisien baik tempat dan waktu serta biaya pembuatan prototipenya dirasa mahal.

Sehingga untuk penggunaan fluida yang efisien dan efektif adalah dengan menggunakan aliran udara yang berasal dari blower.

3. Untuk meningkatkan penurunan *head losses* menggunakan *flow conditioner* jenis *high performance conditioner* yang dipasang setelah belokan dengan variasi jarak setelah belokan.

DAFTAR PUSTAKA

- Audinas. 2011. *Viskositas*. [serial on line].
<http://erviaudina.wordpress.com/2011/02/28/viskositas/>. [29 September 2013]
- Chapter 2. 2011. *Bab II Dasar Teori*. [serial on line].
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18317/3/Chapter%20II.pdf>.
[29 September 2013]
- Dilah. 2009. *Bab 8 dinamika Fluida*. [serial on line].
<http://cakdilah.files.wordpress.com/2009/03/bab-8-dinamika-fluida.pdf>. [29
September 2013]
- Gallagher, James E. 2004. *Flow Conditioning – Why, What, When and Where*. [serial
on line]. <http://www.cbeng.com/resources/whitepaper/FlowConditioning.pdf>.
[1 Oktober 2013]
- White, Frank.M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- M. White, F. 1988. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Marine, dkk. 2012. *Aliran Vortex*. [serial on line].
<http://gerrynaval.blogspot.com/2012/05/aliran-vortex.html>. [27 Agustus 2013]
- Miller S. Donald. *Internal Flow System*. Vol-5. BHRA Fluid Engineering Series.
- ITB, Modul 1.01. 2001. *Aliran Fluida*. Departemen Teknik Kimia ITB, 1-17.

- Nevadha, Andhy. 2013. *Hukum Bernoulli*. [serial on line]. <http://andiapriza.blogspot.com/2013/02/hukum-bernoulli.html>. [29 September 2013]
- Fisika, Pustaka. 2012. *Penjelasan Sederhana Persamaan Bernoulli*. [serial on line]. <http://pustakafisika.wordpress.com/2012/08/06/penjelasan-persamaan-bernoulli/>. [29 September 2013]
- Salimin. 2009. *Pengaruh Perubahan Aliran Terhadap Koefisien Kerugian*. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.1: 17-20.
- Triatmojo, Bambang. 1993. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Victor, L, dkk. 1985. *Mekanika Fluida Jilid 1*. Terjemahan oleh Arko Priyono. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Slamet. 2010. *Penurunan Kerugian Head pada Belokan Pipa dengan Peletakan Tube Bundle*. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 12 No.1: 51-57.
- Welty, James R. 1996. *Dasar-dasar Fenomena Transport*. Jakarta: Erlangga.
- Zainudin, dkk. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. *Jurnal ISSN: 2088-088X*, Vol 2 No. 2: 14-22

LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN

Tabel L1.1 Hasil pengujian pada pipa 1,5 inchi

No	Q(m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	h ₄ (m)	h ₅ (m)
1	0,000257	0,012	0,013	0,016	0,021	0,031
2	0,001035	0,222	0,322	0,3347	0,3383	0,477
3	0,001818	0,356	0,428	0,7617	0,911	0,897

1. Perhitungan tekanan fluida

Menggunakan rumus:

$$P = \rho gh$$

Dimana: P = tekanan fluida

$$g = \text{gravitasi bumi} = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{massa jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = \text{selisih antara (h max - h}_1) = 2 \text{ m} - h_1$$

maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Pada debit 0,000257 m³/s

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,988 \text{ m} = 19880 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,987 \text{ m} = 19870 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,984 \text{ m} = 19840 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,979 \text{ m} = 19790 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,969 \text{ m} = 19690 \text{ N/m}^2$$

b. Pada debit 0,001035 m³/s

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,778 \text{ m} = 17780 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,678 \text{ m} = 16780 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,665 \text{ m} = 16653 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,662 \text{ m} = 16617 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,522 \text{ m} = 15223 \text{ N/m}^2$$

c. Pada debit $0,001818 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,644 \text{ m} = 16440 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,572 \text{ m} = 15720 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,238 \text{ m} = 12383 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,089 \text{ m} = 10890 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,103 \text{ m} = 11030 \text{ N/m}^2$$

2. Perhitungan perhitungan kecepatan fluida

Menggunakan rumus:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Karena $h_1 = h_2 = 0$, maka

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 = P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

$$v_2^2 = \frac{2(P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}} \text{ m/s}$$

maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Pada debit $0,000257 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 1,5 \text{ inchi} = (1,5 \times 2,54) \text{ cm} = 3,81 \text{ cm} = 0,0381 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0381^2 = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,000257 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00456} = 0,056 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(19880 - 19870 + \frac{1}{2} (1000 \times 0,056^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 0,152 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(19870 - 19840 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,152^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 0,288 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(19840 - 19790 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,288^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 0,428 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(19790 - 19690 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,428^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 0,619 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{0,619^2}{2 \times 10} = 0,358 \text{ m}$$

b. Pada debit $0,001035 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 1,5 \text{ inchi} = (1,5 \times 2,54) \text{ cm} = 3,81 \text{ cm} = 0,0381 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0381^2 = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,001035 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00456} = 0,227 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(17780 - 16780 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,227^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 1,432 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(16780 - 16653 + \frac{1}{2}(1000 \times 1,432^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 3,518 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(16653 - 16617 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,518^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 3,355 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(16617 - 15223 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,335^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 3,313 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{3,313^2}{2 \times 10} = 4,821 \text{ m}$$

c. Pada debit $0,001818 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 1,5 \text{ inchi} = (1,5 \times 2,54) \text{ cm} = 3,81 \text{ cm} = 0,0381 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0381^2 = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,001818 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00456} = 0,399 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(16440 - 15720 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,399^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 1,265 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(15720 - 12383 + \frac{1}{2}(1000 \times 2,265^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 2,876 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(12383 - 10890 + \frac{1}{2}(1000 \times 2,876^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 3,355 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(10890 - 11030 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,355^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 3,313 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{3,313^2}{2 \times 10} = 10,247 \text{ m}$$

Tabel L1.2 Hasil pengujian pada pipa 2 inchi

$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$h_1(\text{m})$	$h_2(\text{m})$	$h_3(\text{m})$	$h_4(\text{m})$	$h_5(\text{m})$
0,000224	0,01	0,011	0,013	0,014	0,015
0,001091	0,0677	0,1803	0,1853	0,1923	0,1933
0,002144	0,2147	0,6747	0,869	0,8873	0,8667

1. Perhitungan tekanan fluida

Menggunakan rumus:

$$P = \rho gh$$

Dimana: P = tekanan fluida

$$g = \text{gravitasi bumi} = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = \text{massa jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = \text{selisih antara } (h_{\text{max}} - h_1) = 2 \text{ m} - h_1$$

maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Pada debit $0,000224 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,990 \text{ m} = 19900 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,989 \text{ m} = 19890 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,987 \text{ m} = 19870 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,986 \text{ m} = 19860 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,985 \text{ m} = 19850 \text{ N/m}^2$$

b. Pada debit $0,001091 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,932 \text{ m} = 19323 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,819 \text{ m} = 18197 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,815 \text{ m} = 18147 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,808 \text{ m} = 18077 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,807 \text{ m} = 18067 \text{ N/m}^2$$

c. Pada debit $0,002144 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,785 \text{ m} = 17853 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,325 \text{ m} = 13253 \text{ N/m}^2$$

$$P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,131 \text{ m} = 11310 \text{ N/m}^2$$

$$P_4 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,113 \text{ m} = 11127 \text{ N/m}^2$$

$$P_5 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,133 \text{ m} = 11333 \text{ N/m}^2$$

2. Perhitungan perhitungan kecepatan fluida

Menggunakan rumus:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Karena $h_1 = h_2 = 0$, maka

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 = P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

$$v_2^2 = \frac{2(P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}} \text{ m/s}$$

maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Pada debit $0,000224 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 2 \text{ inchi} = (2 \times 2,54) \text{ cm} = 5,08 \text{ cm} = 0,0508 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0508^2 = 0,0081 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,000224 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0081} = 0,028 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(19900 - 19890 + \frac{1}{2} (1000 \times 0,028^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 0,144 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(19890 - 19870 + \frac{1}{2} (1000 \times 0,144^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 0,247 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(19870 - 19860 + \frac{1}{2} (1000 \times 0,247^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 0,284 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(19860 - 19850 + \frac{1}{2} (1000 \times 0,284^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 0,317 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{0,317^2}{2 \times 10} = 0,094 \text{ m}$$

b. Pada debit $0,001091 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 2 \text{ inchi} = (2 \times 2,54) \text{ cm} = 5,08 \text{ cm} = 0,0508 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0381^2 = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,001091 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00508} = 0,135 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(19323 - 18197 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,135^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 1,507 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(18197 - 18147 + \frac{1}{2}(1000 \times 1,507^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 1,540 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(18147 - 18077 + \frac{1}{2}(1000 \times 1,540^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 1,584 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(18077 - 18067 + \frac{1}{2}(1000 \times 1,584^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 1,591 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{1,591^2}{2 \times 10} = 2,361 \text{ m}$$

c. Pada debit $0,002144 \text{ m}^3/\text{s}$

mencari v_1

$$A = \pi r^2 \text{ dengan } r = 2 \text{ inchi} = (2 \times 2,54) \text{ cm} = 5,08 \text{ cm} = 0,0508 \text{ m}$$

$$A = 3,14 \times 0,0381^2 = 0,00456 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,002144 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00508} = 0,265 \text{ m/s}$$

mencari v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(17853 - 13253 + \frac{1}{2}(1000 \times 0,265^2))}{1000}}$$

$$v_2 = 3,045 \text{ m/s}$$

mencari v_3

$$v_3 = \sqrt{\frac{2(13253 - 11310 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,045^2))}{1000}}$$

$$v_3 = 3,627 \text{ m/s}$$

mencari v_4

$$v_4 = \sqrt{\frac{2(11310 - 11127 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,627^2))}{1000}}$$

$$v_4 = 3,677 \text{ m/s}$$

mencari v_5

$$v_5 = \sqrt{\frac{2(11127 - 11333 + \frac{1}{2}(1000 \times 3,677^2))}{1000}}$$

$$v_5 = 3,621 \text{ m/s}$$

maka nilai $h_m = k \frac{v^2}{2g}$ dengan nilai $k = 0,187$

$$h_m = 0,187 \times \frac{3,621^2}{2 \times 10} = 12,235 \text{ m}$$

LAMPIRAN 2. TABEL

L2.1 Hasil Penelitian Dengan Menggunakan Pipa Ukuran 1,5 Inchi

Tabel L2.1 Hasil penelitian tanpa *tube bundle*

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000257	19880	19870	19840	19790	19690	0,056	0,152	0,288	0,428	0,619	0,358
2	0,001035	17780	16780	16653	16617	15223	0,227	1,432	1,518	1,542	2,273	4,821
3	0,001818	16440	15720	12383	10890	11030	0,399	1,265	2,876	3,355	3,313	10,247

Tabel L2.2 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,25 inchi sebelum belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000324	19857	19787	19597	19600	19670	0,071	0,381	0,725	0,720	0,616	0,354
2	0,000984	19187	18600	16760	16693	16687	0,216	1,105	2,214	2,244	2,246	4,710
3	0,001667	17417	17340	16560	12353	12125	0,366	0,536	1,359	3,203	3,274	10,003

Tabel L2.3 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,25 inchi setelah belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000303	19883	19880	19880	19773	19740	0,066	0,102	0,102	0,474	0,539	0,271
2	0,001	19033	18917	18597	16960	16777	0,219	0,529	0,959	2,048	2,135	4,256
3	0,001538	17790	17550	16820	12877	12583	0,338	0,771	1,433	3,153	3,245	9,826

Tabel L2.4 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000328	19863	19817	19777	19737	19730	0,072	0,312	0,421	0,507	0,521	0,253
2	0,001091	18953	18363	17850	16970	16990	0,239	1,112	1,504	2,006	1,996	3,718
3	0,001874	15650	15287	13903	11190	11060	0,411	0,946	1,914	3,015	3,058	8,725

Tabel L2.5 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,5 setelah belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000311	19823	19803	19760	19727	19717	0,068	0,211	0,361	0,443	0,465	0,202
2	0,001	18923	18767	17857	17153	16990	0,219	0,600	1,477	1,894	1,978	3,653
3	0,001667	17105	16920	14463	12520	12567	0,366	0,710	2,328	3,050	3,035	8,595

L2.2 Hasil Penelitian Dengan Menggunakan Pipa Ukuran 2 Inchi

Tabel L2.6 Hasil penelitian tanpa *tube bundle*

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000224	19900	19890	19870	19860	19850	0,028	0,144	0,247	0,284	0,317	0,094
2	0,001091	19323	18197	18147	18077	18067	0,135	1,507	1,540	1,584	1,591	2,361
3	0,002144	17853	13253	11310	11127	11333	0,265	3,045	3,627	3,677	3,621	12,235

Tabel L2.7 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,25 inci sebelum belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000219	19917	19890	19847	19837	19874	0,027	0,234	0,375	0,401	0,295	0,081
2	0,000968	19403	19263	18260	18230	18197	0,119	0,542	1,517	1,536	1,558	2,264
3	0,002222	18120	17100	11527	11417	11870	0,274	1,454	3,642	3,672	3,546	11,736

Tabel L2.8 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,25 inci setelah belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000221	19980	19970	19970	19960	19940	0,027	0,144	0,144	0,202	0,284	0,075
2	0,001	19530	19497	19467	18653	18433	0,123	0,285	0,376	1,330	1,486	2,062
3	0,002222	17700	17463	17467	13867	12543	0,274	0,741	0,736	2,782	3,223	9,696

Tabel L2.9 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,5 inci sebelum belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000221	19918	19887	19857	19897	19883	0,027	0,250	0,350	0,207	0,266	0,066
2	0,001017	19393	19123	18577	18663	18701	0,125	0,745	1,284	1,215	1,183	1,306
3	0,002134	16827	16133	13040	13390	13530	0,263	1,207	2,765	2,635	2,581	6,219

Tabel L2.10 Hasil penelitian menggunakan *tube bundle* 0,5 inci setelah belokan

No	Q (m ³ /s)	P ₁ (N/m ³)	P ₂ (N/m ³)	P ₃ (N/m ³)	P ₄ (N/m ³)	P ₅ (N/m ³)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	v ₃ (m/s)	v ₄ (m/s)	v ₅ (m/s)	h _m (m)
1	0,000224	19923	19923	19913	19900	19895	0,028	0,028	0,144	0,216	0,238	0,053
2	0,001091	19440	19423	19390	18993	18753	0,135	0,228	0,344	0,955	1,180	1,299
3	0,002144	17633	17467	17363	15717	14600	0,265	0,634	0,781	1,975	2,477	5,727

LAMPIRAN 3. DOKUMENTASI



Gambar L3.1 rangkaian prototipe



Gambar L3.2 tandon atas



Gambar L3.3 manometer pengukuran



Gambar L3.4 pengujian debit



Gambar L3.5 *tube bundle* ukuran 0,5 inchi



Gambar L3.6 *tube bundle* ukuran 0,5 inchi tampak depan



Gambar L3.7 belokan 180° ukuran 1,5 inci



Gambar L3.8 belokan 180° ukuran 2 inci



Gambar L3.9 *tube bundle* ukuran 0,25 inchi



Gambar L3.10 *tube bundle* ukuran 0,25 inchi tampak depan