

**PENGARUH VARIASI PANJANG VANE TERHADAP
KERUGIAN *HEAD* ALIRAN FLUIDA PADA BELOKAN PIPA**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

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



Disusun Oleh:

MOHAMMAD EFFENDI

NIM. 0510620067-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2010



**PENGARUH VARIASI PANJANG VANE TERHADAP
KERUGIAN HEAD ALIRAN FLUIDA PADA BELOKAN PIPA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

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



Disusun Oleh:
MOHAMMAD EFFENDI
NIM. 0510620067-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Ir. Endi Sutikno, MT
NIP. 19590411 198710 1 001



**PENGARUH VARIASI PANJANG VANE TERHADAP
KERUGIAN HEAD ALIRAN FLUIDA PADA BELOKAN PIPA**

Disusun Oleh:

MOHAMMAD EFFENDI

NIM. 0510620067-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus

Pada tanggal 09 Februari 2010

Skripsi I

Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT
NIP. 19450307 197603 1 001

Skripsi II

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590411 198710 1 001

Komprehensif

Ir. Ari Wahjudi, MT
NIP. 19680324 199412 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. H. Slamet Wahyudi, ST, MT
NIP. 19541009 198303 1 002



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” **Pengaruh Variasi Panjang Vane terhadap Kerugian Head Aliran Fluida pada Belokan Pipa** ”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar sarjana Teknik.

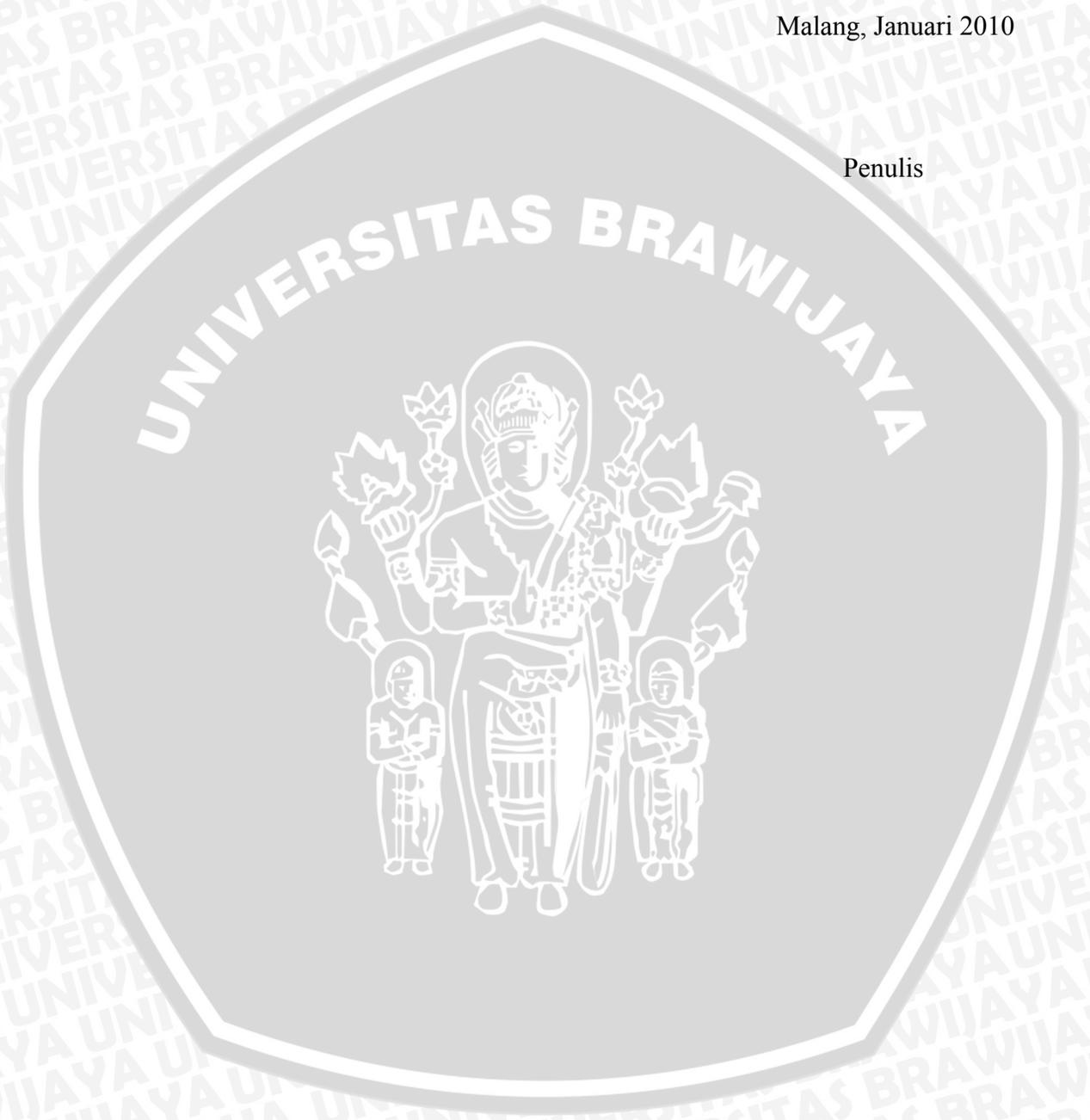
Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H Slamet Wahyudi, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Dr. Eng Anindito Purnowidodo, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi.
4. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng selaku dosen pembimbing I skripsi.
5. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT selaku Ketua Laboratorium FDM dan dosen pembimbing II skripsi.
6. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Gede Wardana, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Wali.
7. Seluruh Staf pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Mama, (alm) papa serta keluarga tercinta atas segala doa, kasih sayang, bantuan dan dukungan baik secara materil maupun moril.
9. Astrid Deasy atas segala kesabaran dan tak pernah lelah memberi perhatian, semangat, inspirasi dan motivasi.
10. Sahabat-sahabat IKAN HIU atas segala kisah hidup yang telah kita torehkan bersama, tetap berjuang untuk keluarga, persahabatan, cinta dan masa depan serta semoga kita semua sukses selalu.
11. *Three Vane Musketeer*, krebo dan ringgo atas kebersamaannya selama ini dan sabar mendengar segala omelan dan keluhan selama pengerjaan skripsi.
12. Keluarga *Il Phenomenon* FDM atas kebersamaannya selama praktikum, proyek, makan-makan, dan jalan-jalan selama ini.
13. Teman-teman M0LIMO atas segala kebersamaan yang tidak akan pernah berakhir.

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

Malang, Januari 2010

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Lata	
1.1.1 r Belakang	1
1.2 Rum	
1.2.1 usan Masalah	2
1.3 Bata	
1.3.1 san Masalah	2
1.4 Tuju	
1.4.1 an Penelitian	2
1.5 Man	
1.5.1 faat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pene	
2.1.1 litian Sebelumnya	4
2.2 Flui	
2.2.1 da	4
2.2.1.1 Defi	
2.2.1.1.1 nisi Fluida	4
2.3 Klas	
2.3.1 ifikasi Fluida	5
2.3.1.1 Flui	
2.3.1.1.1 da Newtonian dan Fluida Non-Newtonian	5



2.3.2	Flui	
	da Mampu Mampat dan Tak Mampu Mampat	5
2.4	Visk	
	ositas	6
2.5	Lapi	
	san Batas / <i>Boundary Layer</i>	8
2.6	Bila	
	ngan <i>Reynold</i>	9
2.6.1	Alira	
	n Laminer dan Aliran Turbulen	9
2.6.2	<i>Full</i>	
	<i>y Developed</i>	11
2.7	Anal	
	isa Aliran Fluida pada Pipa	12
2.7.1	Huk	
	um Kontinuitas	12
2.7.2	Pers	
	amaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Ideal	12
2.7.3	Pers	
	amaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Real	14
2.8	<i>Vort</i>	
	<i>ex</i>	15
2.9	<i>Hea</i>	
	<i>d Losses</i>	17
2.9.1	<i>Maj</i>	
	<i>or Losses</i>	17
2.9.2	<i>Min</i>	
	<i>or Losses</i>	17
2.9.3	<i>Min</i>	
	<i>or Losses</i> pada Belokan Pipa	19



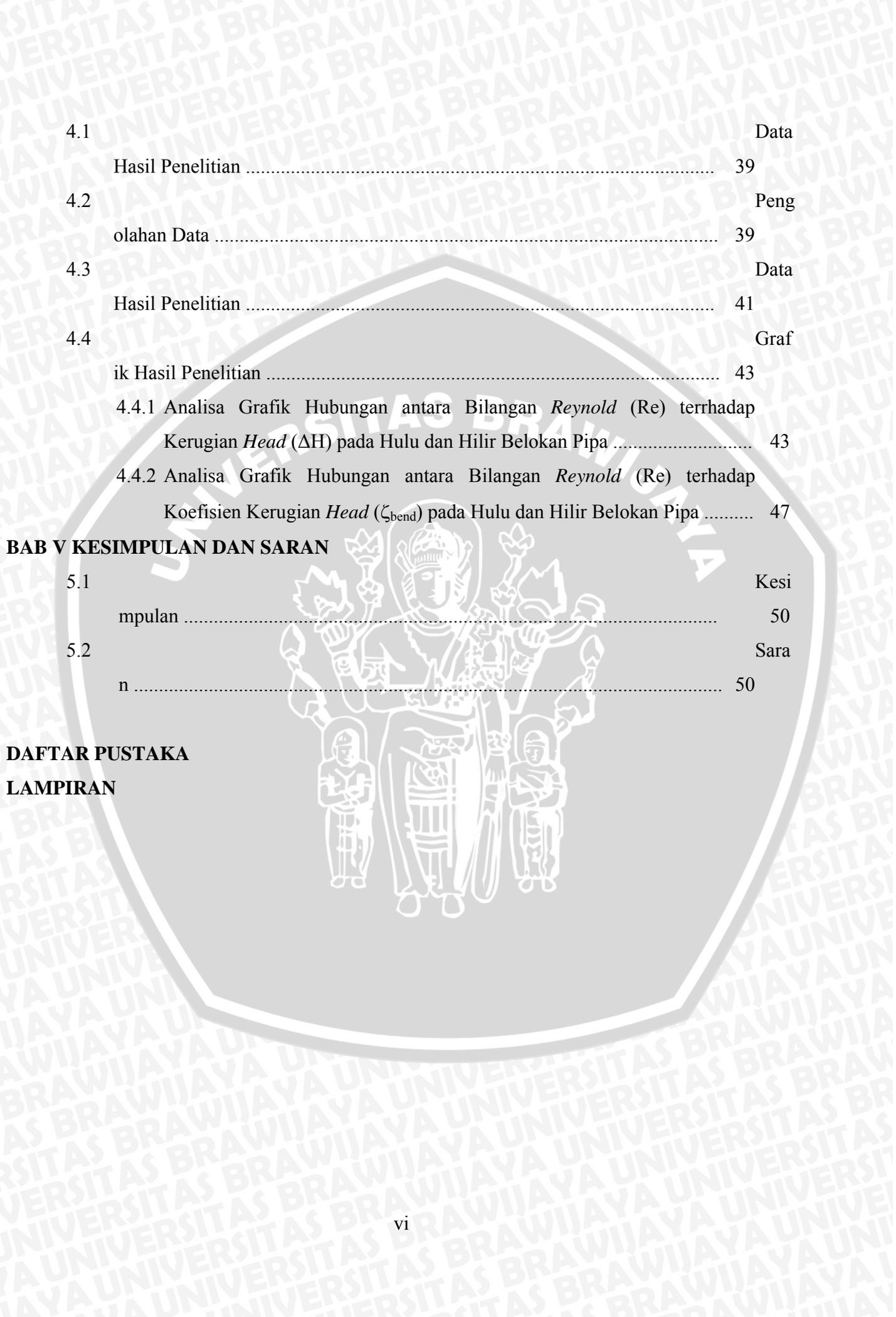
2.10	Flow	
Conditioner	21	
2.11	Vane	
.....	22	
2.12	Hipo	
tesa	30	

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Met	
ode Penelitian	31	
3.2	Tem	
pat dan Waktu Pelaksanaan	31	
3.3	Pros	
edur Penelitian	31	
3.4	Peral	
atan Penelitian	32	
3.5	Insta	
lasi Penelitian	34	
3.6	Vari	
abel Penelitian	34	
3.7	Met	
ode Pengambilan Data	35	
3.8	Ranc	
angan Penelitian	35	
3.8.1 Rancangan Data Penelitian	36	
3.8.2 Grafik Hubungan Antar Variabel	37	
3.9	Diag	
ram Alir Penelitian	38	

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN





4.1	Hasil Penelitian	Data	39
4.2	olahan Data	Peng	39
4.3	Hasil Penelitian	Data	41
4.4	ik Hasil Penelitian	Graf	43
4.4.1	Analisa Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> (<i>Re</i>) terhadap Kerugian <i>Head</i> (ΔH) pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa		43
4.4.2	Analisa Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> (<i>Re</i>) terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> (ζ_{bend}) pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa		47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	mpulan	Kesi	50
5.2	n	Sara	50

**DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Tabel Rancangan Penelitian yang Diperoleh	36
Tabel 3.2	Tabel Pengolahan Data	37
Tabel 4.1	Tabel Kecepatan Aliran Fluida (v) pada Instalasi Pipa	41
Tabel 4.2	Tabel Kerugian <i>Head</i> Hulu dan Hilir Belokan Pipa (ΔH_1)	42
Tabel 4.3	Tabel Penurunan Tekanan Hulu dan Hilir Belokan Pipa (Δp_1)	42
Tabel 4.4	Tabel Koefisien Kerugian <i>Head</i> pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa (ζ)	43



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian	5
Gambar 2.2	Viskositas Kinematik Berbagai Fluida pada 1 atm	7
Gambar 2.3	Struktur <i>Boundary Layer</i>	8
Gambar 2.4	Aliran Laminer	10
Gambar 2.5	Aliran Turbulen	10
Gambar 2.6	Perkembangan Aliran Laminer pada Pipa	11
Gambar 2.7	Aliran <i>Steady</i> dalam Pipa	12
Gambar 2.8	Aliran yang Telah Berkembang Penuh antara 2 Penampang dalam Pipa Miring	14
Gambar 2.9	Geometri <i>Vortex</i> Menurut Besar Bilangan <i>Reynold</i>	16
Gambar 2.10	<i>Vortex</i> 2 Dimensi	16
Gambar 2.11	Bentuk-Bentuk Lokal Saluran	17
Gambar 2.12	Penurunan Tekanan Akibat <i>Minor Losses</i> (<i>Orifice</i>)	18
Gambar 2.13	Belokan Siku	19

Gambar 2.14	Profil Aliran Melewati Belokan	19
Gambar 2.15	Belokan <i>Circular</i> 90°	20
Gambar 2.16	Grafik Hubungan ($\frac{R}{a}$) terhadap Nilai <i>a</i>	20
Gambar 2.17	Grafik Hubungan ($\frac{e}{a}$) terhadap Nilai <i>c</i>	21
Gambar 2.18	Grafik Hubungan (δ) terhadap Nilai <i>b</i>	21
Gambar 2.19	<i>Vane</i>	22
Gambar 2.20	Tabel Perbandingan <i>Flow Conditioner</i>	23
Gambar 2.21	<i>Etoile Flow Straightener</i>	24
Gambar 2.22	Profil Geometri <i>Airfoil</i>	24
Gambar 2.23	Profil Garis	25
Gambar 2.24	Aliran Fluida pada <i>Airfoil</i>	27
Gambar 2.25	Aliran Fluida pada <i>Flat Plate</i>	28
Gambar 2.26	Putaran Vessel Terbuka Terhadap Sumbu Vertikal	29
Gambar 3.1	<i>Etoile Flow Straightener</i>	32
Gambar 3.2	Rotameter	33
Gambar 3.3	Manometer Defleksi	33
Gambar 3.4	Instalasi Uji	34
Gambar 3.5	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Kerugian <i>Head</i> pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa	37
Gambar 3.6	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa	37
Gambar 3.7	Diagram Alir	38
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Kerugian <i>Head</i> pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa	43
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa	47

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
LAMPIRAN A	Tabel Kerapatan dan kekentalan air pada 1 atm
LAMPIRAN B	Tabel Data Hasil Pengukuran Beda Tekanan Pada Belokan Pipa
LAMPIRAN C	Tabel Data Hasil Perhitungan Beda Tekanan Seluruh Variasi
LAMPIRAN D	Foto Flow Conditioner <i>Vane</i> dengan Berbagai Variasi Panjang <i>Vane</i>



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RINGKASAN

Mohammad Effendi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2010, *Pengaruh Variasi Panjang Vane terhadap Kerugian Head Aliran Fluida pada Belokan Pipa*, Dosen Pembimbing: Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., Ir. Endi Sutikno, MT.

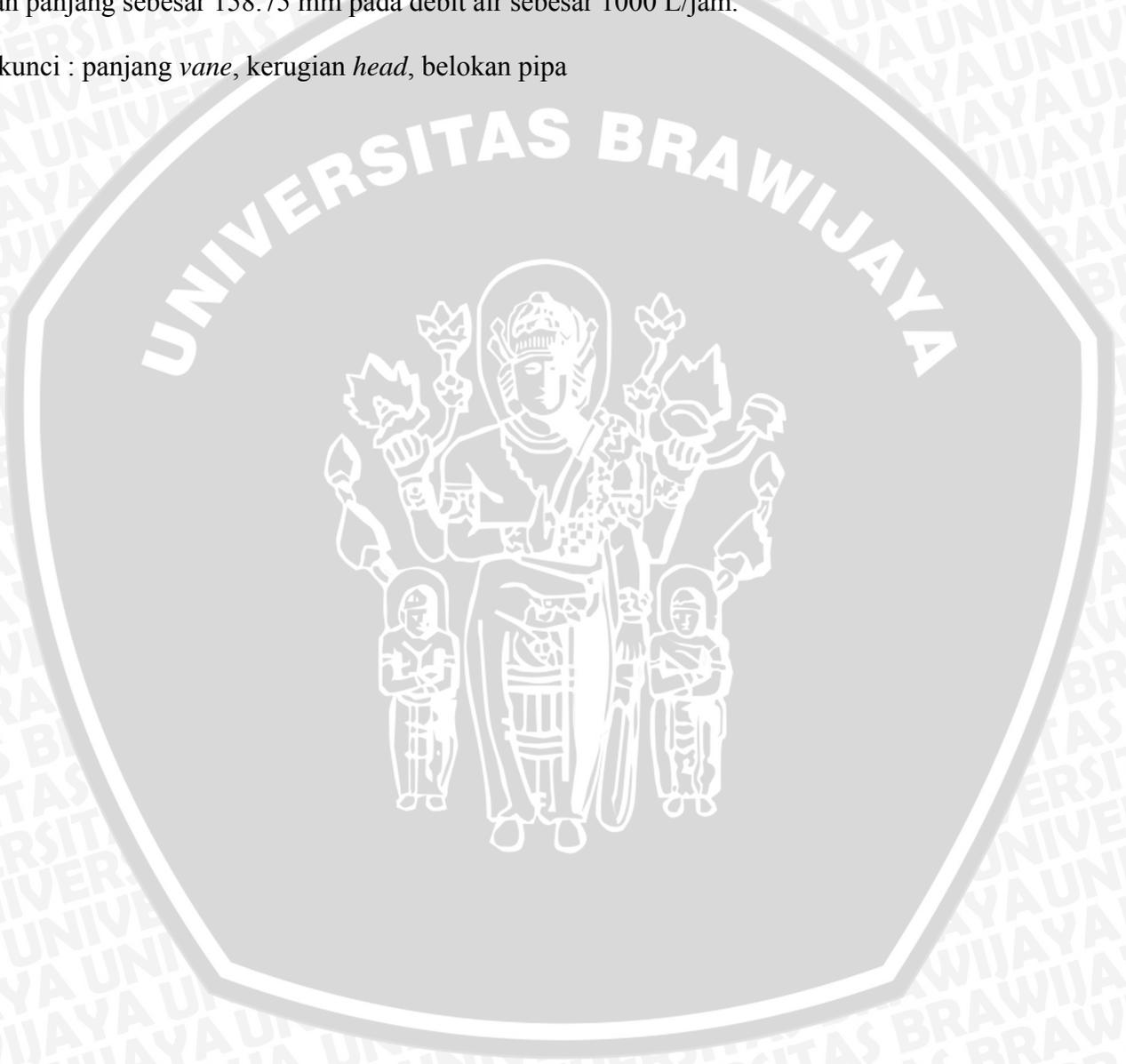
Pada belokan pipa kerugian *head* yang ditandai dengan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama, hal ini disebabkan aliran fluida mengalami perubahan kecepatan baik arah maupun besarnya dimana kecepatan fluida semakin besar mendekati pusat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

Pada penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen. Dalam penelitian ini digunakan instalasi *hydraulic bench* dengan mengatur debit air pada instalasi pipa dan manometer untuk mengukur perbedaan tekanan yang terjadi. Variasi

panjang *vane* yang digunakan adalah 63.5 mm (2D), 95.25 mm (3D), 127 mm (4D) dan 158.75 mm (5D).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *vane* mempengaruhi nilai kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa dimana semakin panjang *vane* akan meningkatkan kemampuan *vane* untuk meluruskan aliran. Akibat adanya pengaruh viskositas dan tegangan geser fluida menyebabkan adanya aliran induksi yang mengakibatkan *twin eddy* yang terbentuk mendekati profil lingkaran dengan nilai *c* minimum sehingga kerugian *head* aliran fluida yang melewati belokan pipa akan berkurang. Kerugian *head* terendah yaitu 3.5 mmH₂O didapat pada *vane* dengan panjang sebesar 158.75 mm pada debit air sebesar 1000 L/jam.

Kata kunci : panjang *vane*, kerugian *head*, belokan pipa



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mekanika fluida merupakan salah satu ilmu pengetahuan dasar dalam bidang rekayasa *engineering* yang juga merupakan salah satu cabang dalam pengetahuan dasar teknik mesin. Mekanika fluida mempelajari tentang keseimbangan dan sifat-sifat aliran fluida, serta hubungan dengan benda-benda di sekitarnya atau yang dilalui fluida saat mengalir. Aliran fluida di dalam pipa merupakan salah satu pokok bahasan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang mekanika fluida. Banyak peneliti yang telah menyampaikan kajiannya, tertuang dalam berbagai rujukan pustaka, berupa kajian teoritis dan *empiris*.

Pipa pada suatu sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang sangat penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawi, dan pengolahan limbah. Fungsi utama pipa tersebut adalah mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain, dimana dalam menjalankan fungsinya seringkali tidak dapat dipisahkan dari penggunaan belokan (*pipe bends*) sebagai pengatur arah aliran fluida yang melewati pipa. Gesekan fluida pada dinding pipa merupakan penyebab utama terjadinya kerugian energi pada sistem instalasi fluida (Witanto, 2004). Kerugian yang berupa penurunan *head* yang diakibatkan oleh gesekan yang terjadi pada pipa lurus disebut *major losses*, sedangkan kerugian yang diakibatkan perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti perubahan luas penampang, katup, belokan, *orifice* dll disebut *minor losses*.

Pada belokan pipa kerugian *head* yang ditandai dengan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama (Potter and Wiggert, 1997). Hal ini disebabkan aliran fluida pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang menyebabkan timbulnya aliran sekunder yang dapat memicu terbentuknya *vortex* yang dapat memperbesar Δp (penurunan tekanan). Maka semakin besar koefisien kerugian *head*, semakin besar *losses* yang terjadi pada belokan sehingga semakin besar pula *pressure drop* (Δp). Sehingga semakin besar Δp atau meningkatnya *pressure drop* yang diakibatkan oleh *vortex* tersebut dapat menyebabkan energi yang hilang pada fluida saat melewati belokan semakin meningkat.

Salah satu cara untuk mengurangi aliran sekunder atau *vortex* akibat adanya katup, belokan atau akibat sambungan pipa adalah dengan pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) berupa *vane*.

Oleh karena itu dalam studi *experiment* ini diteliti salah satu cara untuk mengurangi kerugian *head* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran jenis *vane* dengan panjang tertentu pada bagian hilir belokan.

1.2 Rumusan Masalah

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

- Bagaimana pengaruh variasi panjang *vane* terhadap kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air (*incompressible*).
2. Kerugian *head* yang diteliti hanya pada belokan pipa (*Elbow*) dengan menggunakan PVC berdiameter 1,25 Inch.
3. *Vane* yang digunakan dari bahan *acrylic* dengan sudut 45° dan tebal sirip 2 mm.
4. Variasi panjang *vane* searah longitudinal yang diteliti adalah 2D, 3D, 4D, 5D.
5. *Vane* diletakkan tepat pada hilir belokan pipa.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi panjang *vane* terhadap kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri untuk mengurangi kerugian *head* (berupa *pressure drop*) pada instalasi perpipaan yang dimilikinya.
2. Sebagai dasar dalam mendesain dan pemilihan alat pengkondisian aliran jenis *vane* untuk mengurangi kerugian *head* pada instalasi pipa.

3. Memberikan pemahaman mendasar sekaligus referensi tambahan bagi penelitian mahasiswa lebih lanjut mengenai usaha penurunan kerugian *head* pada instalasi perpipaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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

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

Bagus Pramudibyo (2008), meneliti tentang “Peran serta panjang *tube bundle* terhadap penurunan tekanan dan koefisien kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa”. Penelitian ini dilakukan pada belokan pipa dimana pada dinding pipa setelah belokan pipa dibuat *tube bundle* dengan variasi panjang. Dalam penelitiannya diperoleh kesimpulan bahwa pemasangan *tube bundle* pada bagian hilir belokan pipa mempengaruhi penurunan/ beda tekanan dan kerugian *head* aliran fluida. Semakin panjang *tube bundle*, kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa semakin kecil karena intensitas *twin eddy* dan *vortex* yang dihasilkan juga semakin kecil.

2.2 Fluida

2.2.1 Definisi Fluida

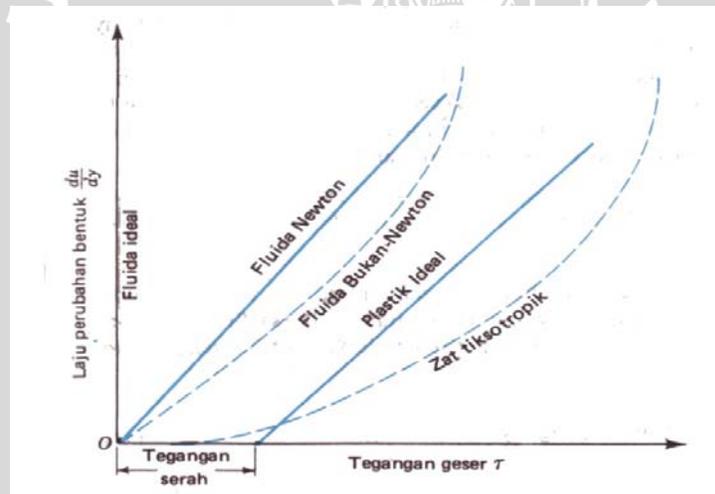
Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk secara terus-menerus (kontinyu) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Tegangan geser ini timbul akibat adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen

gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. (Streeter, L. V, and Wylie, 1996 : 3)

2.3 Klasifikasi Fluida

2.3.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

Berdasarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser, fluida dibedakan menjadi fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian (Streeter, Victor. L, 1986 :3). Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dengan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Sedangkan fluida non-Newtonian memiliki hubungan yang tak linier antara besarnya tegangan geser dengan laju perubahan bentuk seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1. Contoh fluida Newtonian adalah air, udara dan oli, sedangkan fluida non-Newtonian adalah plastik cair dan lilin cair.



Gambar 2.1 : Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

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

2.3.2 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Tak Mampu Mampat

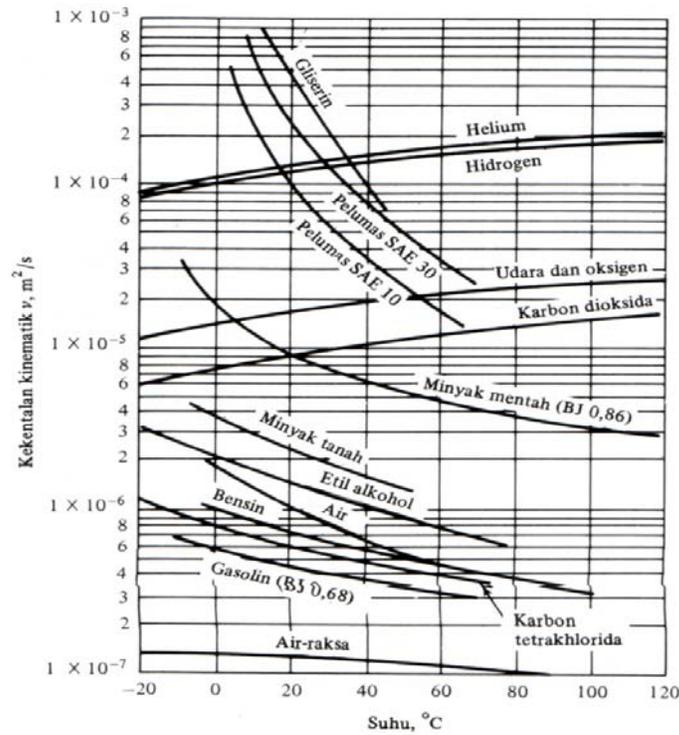
Menurut Daugherty, Robert L. (1986 : 4) fluida dibagi menjadi 2 yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida tak mampu mampat (*incompressible*). Fluida takmampu mampat (*incompressible*) adalah fluida yang mempunyai massa jenis (ρ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan $\frac{dp}{dp} = 0$. Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya (ρ) berubah-ubah terhadap tekanan

$\frac{dp}{dp} > 0$. Contoh fluida tak mampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas yang memiliki Bilangan Mach atau *Mach Number* (M) $< 0,3$ sedangkan untuk fluida gas yang memiliki *Mach Number* (M) $> 0,3$ dianggap fluida mampu mampat dan sifat-sifat kompresibilitasnya harus diperhitungkan.

2.4 Viskositas

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

Pada Gambar 2.2 di halaman 7 terlihat viskositas dari berbagai fluida. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositas dinamik (μ) akan menurun dengan meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas sebaliknya, yaitu dengan meningkatnya temperatur maka viskositasnya juga meningkat. Menurut Streeter (1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap suhu dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler. Viskositas akan bertambah jika pertukaran kalor yang acak antar molekul-molekulnya, sehingga meningkatnya temperatur mengakibatkan viskositasnya juga akan meningkat (Nekrasov, B; 1960)



Gambar 2.2 : Viskositas Kinematik Berbagai Fluida pada 1 atm
 Sumber : White, Frank M .1994 : 388

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Potter,1997:260}) \quad (2-1)$$

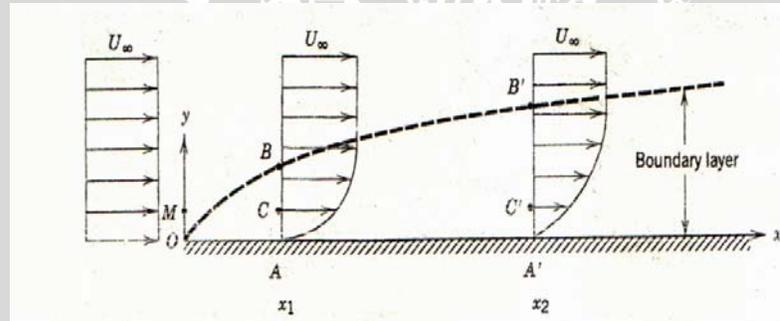
Dimana :

- ν = viskositas kinematik (m^2/s)
- μ = viskositas dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)
- ρ = densitas / massa jenis (Kg/m^3)

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

2.5 Lapisan Batas / *Boundary layer*

Boundary layer adalah lapisan tipis fluida pada permukaan benda padat dimana terjadi suatu gradien parameter yang besar. Pada fluida yang mengalir di dalam pipa, terjadi lapisan batas, dimana pada lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa, karena pengaruh dari tegangan geser dinding pipa, sehingga terjadi gradien kecepatan. Pada aliran fluida actual / *viscous* yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah, dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida di dalam lapisan batas telah mencapai 99% kecepatan aliran utama). Semakin mendekati permukaan diam (dinding pipa), kecepatan semakin berkurang, sebaliknya semakin menjauh kecepatan aliran semakin bertambah. Daerah ini disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*) dengan ketebalan yang sangat tipis. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida *viscous* karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Gambar 2.3 menjelaskan tentang stuktur *boundary layer*



Gambar 2.3 : Struktur *Boundary Layer*

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

Pada gambar 2.3 terlihat ketika berada pada O fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada A' juga terjadi gradien kecepatan, akan tetapi pengurangan kecepatan semakin besar karena jarak fluida mengalir pada dinding semakin jauh, sehingga pengaruh gaya dinding semakin besar terhadap fluida.

2.6 Bilangan Reynold

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

Persamaan bilangan *Reynold* untuk aliran didalam pipa adalah

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

Dimana :

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

D = diameter pipa (meter)

ν = viskositas kinematik (m²/s)

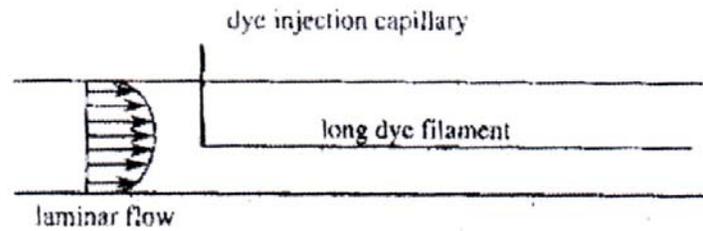
μ = viskositas absolut/dinamik (N.s/ m²)

ρ = densitas (Kg/m³)

2.6.1 Aliran Laminer dan Turbulen

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

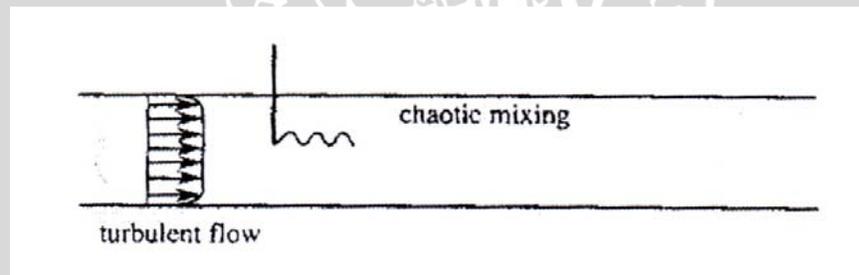
Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynold* lebih kecil dari 2300. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif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



Gambar 2.4 : Aliran Laminer

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

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

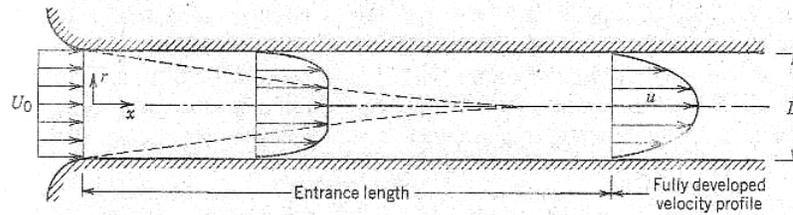


Gambar 2.5 : Aliran Turbulen

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

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

2.6.2 Fully Developed



Gambar 2.6 : Perkembangan Aliran Laminer pada Pipa
 Sumber : Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T.1994 : 26

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

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

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

Rumus *Entrance length* adalah :

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

(Fox, 1994: 305)

Dimana :

L = *entrance length* (m)

D = diameter pipa (m)

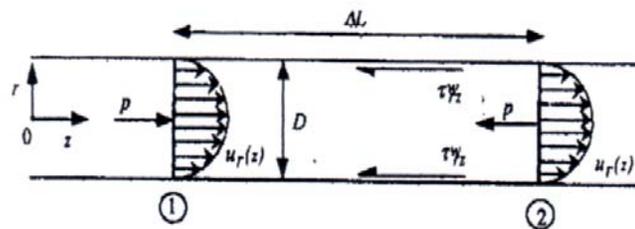
ρ = densitas (Kg/m³)

V = kecepatan rata-rata(m/s)

μ = viskositas absolut(N.s/m²)

2.7 Analisa Aliran Fluida pada Pipa

2.7.1 Hukum Kontinuitas



Gambar 2.7 : Aliran *steady* dalam Pipa

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 140

Berdasarkan gambar 2.7 diatas, aliran fluida pada bagian 1 dan 2 mengalir dengan laju aliran yang konstan, sehingga kuantitas massa aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan di antara bagian 1 dan 2, maka massa fluida yang mengalir antara bagian 1 dan 2 tiap satuan waktu adalah tetap, dan dapat dirumuskan dengan (White, Frank M, 1994:305)

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

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

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

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1 = Q_2 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-4)$$

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

A = luas penampang pipa (m^2)

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

2.7.2 Persamaan *Bernoulli* untuk Fluida Ideal

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

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

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

$$W = g.Z + m.\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter, 1991:4}) \quad (2-6)$$

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

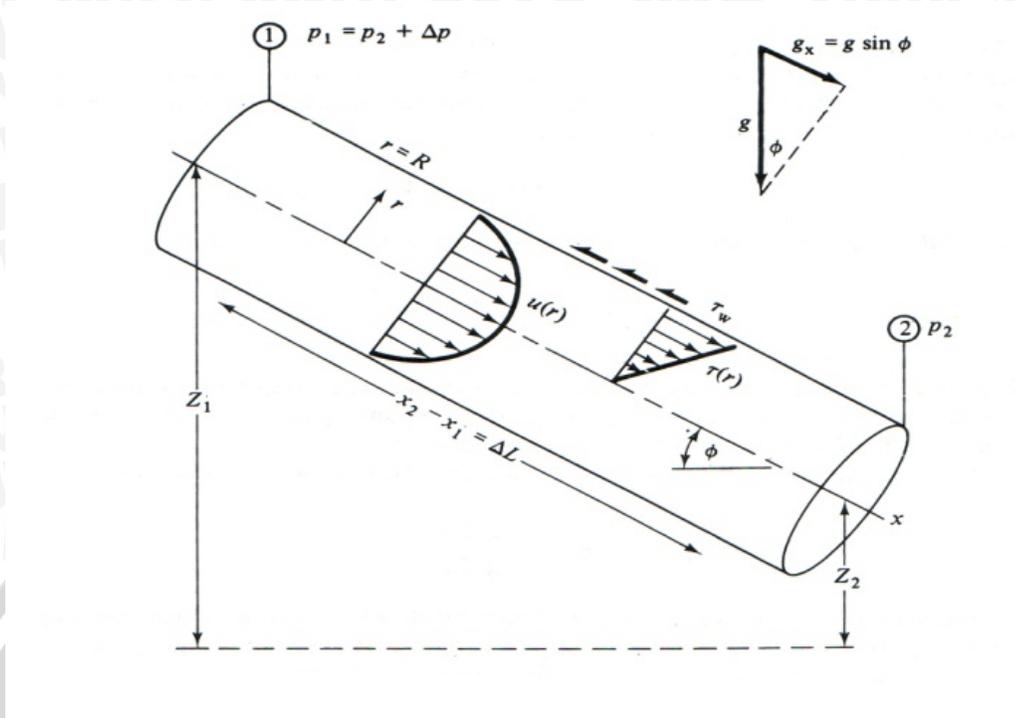
Persamaan *head* yaitu:

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

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

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho.g} + \frac{V_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho.g} + \frac{V_2^2}{2.g} \quad (\text{Streeter, 1991:4}) \quad (2-8)$$

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



Gambar 2.8 : Aliran yang Telah Berkembang Penuh antara 2 Penampang dalam Pipa Miring

Sumber : White, Frank. M.1954: 305

2.7.3 Persamaan Bernoulli untuk Fluida Real

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

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

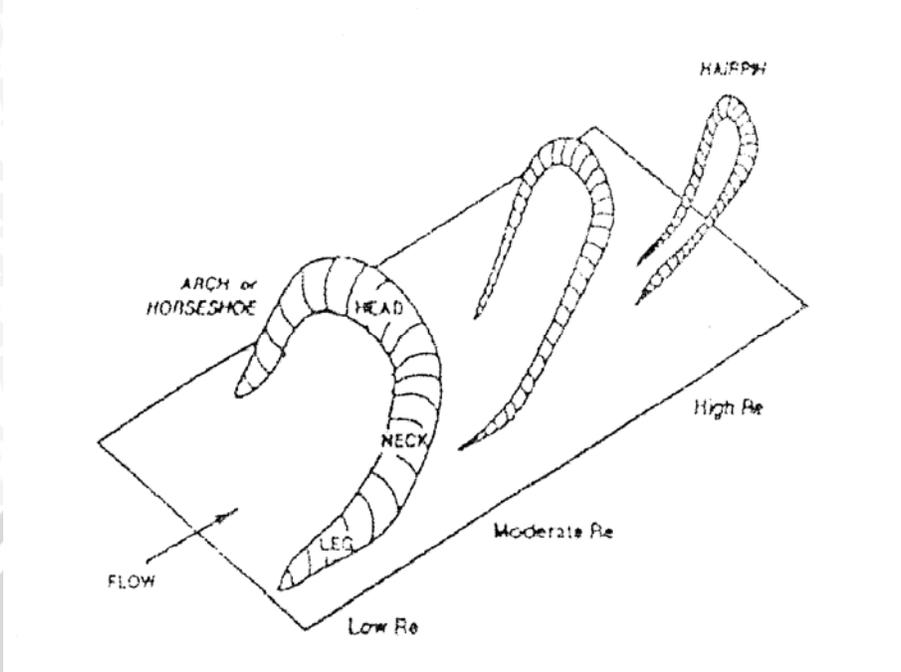
$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{2 \cdot g} + \sum h \quad (\text{Nekrasov, 1960: 59}) \quad (2-9)$$

Persamaan di atas adalah persamaan *Bernoulli* untuk fluida real. Persamaan ini berbeda dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida ideal. Pada persamaan ini di tampilkan *head loss* ($\sum h$) karena pada fluida real terjadi kehilangan energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam. Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut. (Nekrasov, 1960: 60)

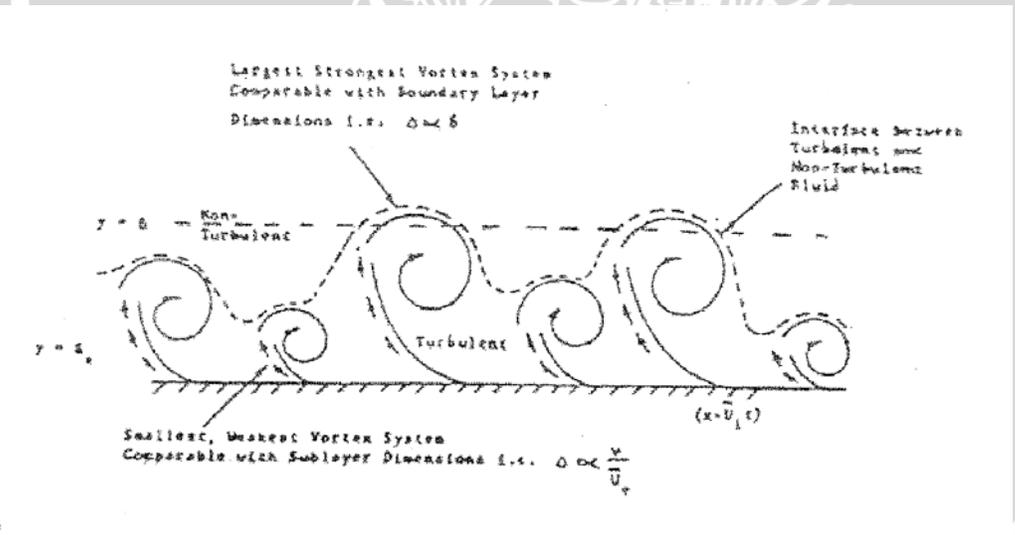
2.8 *Vortex*

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran (Potter, 1997). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortex-vortex* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder.

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



Gambar 2.9 : Geometri *Vortex* Menurut Besar Bilangan *Reynold*
 Sumber : Potter, Merle.C, and Wiggert, David.C; 1997: 267



Gambar 2.10 : *Vortex* 2 Dimensi
 Sumber : Potter, Merle.C, and Wiggert, David.C; 1997: 269

2.9 Head Losses

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

2.9.1 Major losses

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

Rumusan untuk *major losses* menurut Parcy.

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

h = *major losses* (m)

λ = faktor gesek

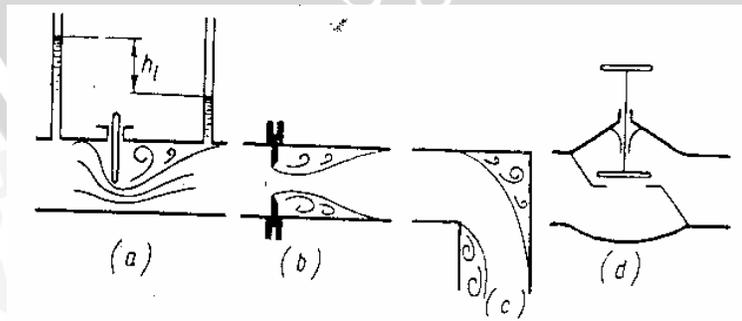
l = panjang pipa (m)

d = diameter pipa (m)

V = kecepatan fluida (m/s)

2.9.2 Minor losses

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



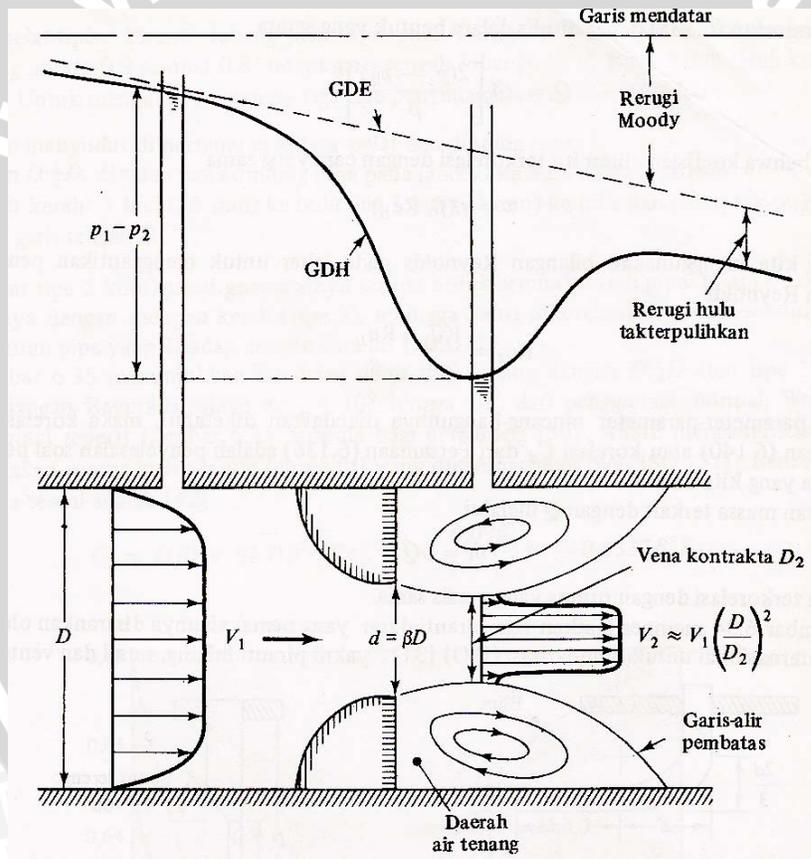
Gambar 2.11 : Bentuk-Bentuk Lokal Saluran
 Sumber : Boris Neckrasov, 1960 : 61

Minor losses dapat dirumuskan:

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

ξ adalah koefisien kerugian *minor losses* dan V adalah

Perubahan penampang secara tiba-tiba dalam pipa mengakibatkan kerugian yang lebih besar dari pada kerugian yang diakibatkan gesekan pada pipa, kerugian ini disebabkan karena pada perubahan penampang secara tiba-tiba pada pipa akan menyebabkan adanya separasi. Akibat dari separasi adalah berkurangnya kerja bersih kerja bersih aliran dimana pemulihan tekanan tidak sempurna dan kerugian aliran bertambah.

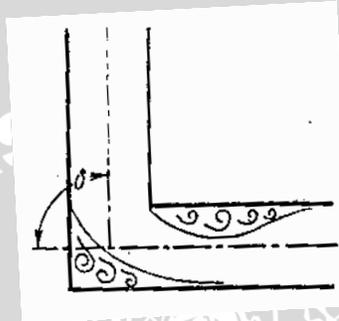


Gambar 2.12 : Penurunan Tekanan Akibat *Minor Losses* (*Orifice*)

Sumber : White Frank M, 1988 : 361

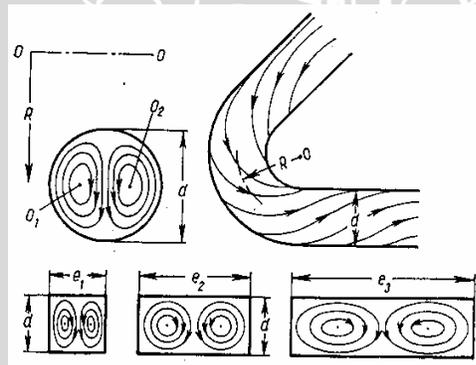
2.9.3 Minor Losses pada Belokan Pipa

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



Gambar 2.13 : Belokan Siku
 Sumber : Boris Neckrasov, 1960:118

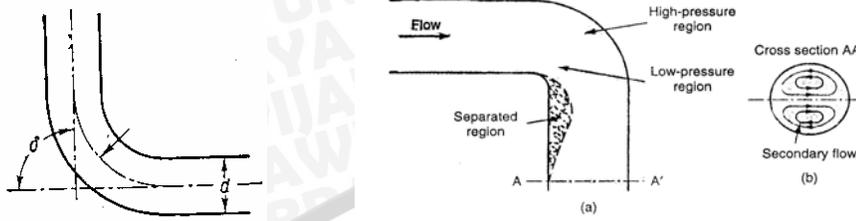
Losses yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida.



Gambar 2.14 : Profil aliran melewati belokan
 Sumber : Boris Neckrasov, 1960:117

Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Karena kecepatan fluida yang tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, maka gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah

arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.



Gambar 2.15 : Belokan *Circular* 90°
 Sumber : Boris Neckrasov, 1960:114

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

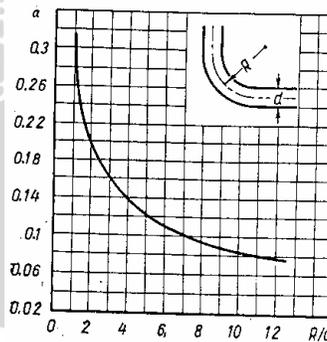
$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960: 61})$$

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

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

$$\zeta_{bend} = 0,73 abc$$

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

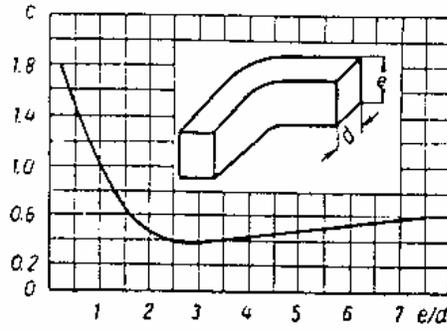


Gambar 2.16 : Grafik Hubungan ($\frac{R}{d}$) terhadap Nilai a

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:115

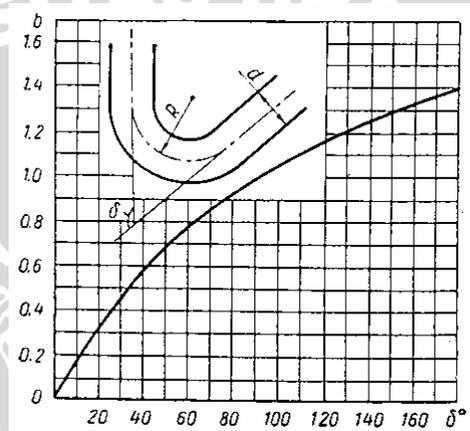
b = fungsi dari sudut belokan (δ)

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



Gambar 2.17 : Grafik Hubungan ($\frac{e}{d}$) terhadap Nilai c

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:116



Gambar 2.18 : Grafik hubungan (δ) terhadap nilai b

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:116

2.10 Flow Conditioner

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

Karena *flow conditioner* bisa mengurangi terjadinya separasi dan *vortex*, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan *pressure drop*

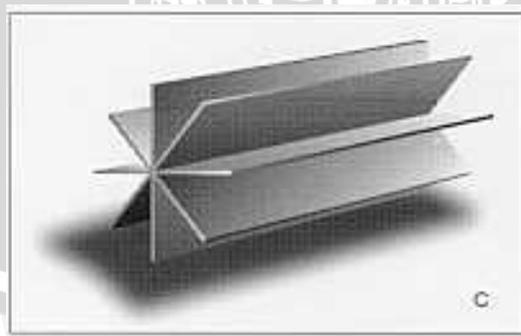
pada belokan pipa, terjadinya getaran pada pipa, dan kavitasi, maka pemasangan *flow conditioner* dapat meminimalisasi kerugian tersebut ketika aliran melewati belokan, katup, dll. Di lain pihak pemasangan *flow conditioner* pada instalasi perpipaan sendiri juga dapat menyebabkan *pressure drop*. Pemasangan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

$$\text{Efisiensi flow conditioner} = \frac{\text{penghilangan gangguan aliran}}{\text{pressure drop karena alat}} \div \frac{\text{penurunan pressure drop pada aliran}}{\text{pressure drop karena alat}} \quad (2-12)$$

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

2.11 Vane

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



Gambar 2.19 : *Vane*
Sumber : Jeff Deane

Meskipun *vane* baik dalam menghilangkan *swirl* atau *vortex*, hasil penelitian mengatakan terjadi beberapa kesalahan pengukuran pada aliran. Hal ini dikarenakan profil aliran yang dihasilkan *vane* tidak cukup stabil dan dapat menyebabkan gangguan pada profil kecepatan aliran. Kekurangan ini menyebabkan *vane* membutuhkan dimensi yang lebih panjang untuk mencapai aliran *fully developed* dibandingkan dengan *flow conditioner* lain (plat perforasi).

Kelebihan *vane* di samping mampu menghilangkan *swirl* lebih baik dari pada *flow conditioner* lain, *pressure drop* yang dihasilkan alat ini relatif lebih kecil. Dengan *vane* penghalangan aliran lebih kecil terjadi, sehingga kehilangan energi pada aliran lebih kecil. Adapun kelebihan lain dari penggunaan *flow conditioner* jenis *vane* ini adalah proses pembuatannya lebih mudah dan dengan biaya yang lebih murah. Hal ini diperjelas pada tabel perbandingan *flow conditioner* dibawah ini:

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

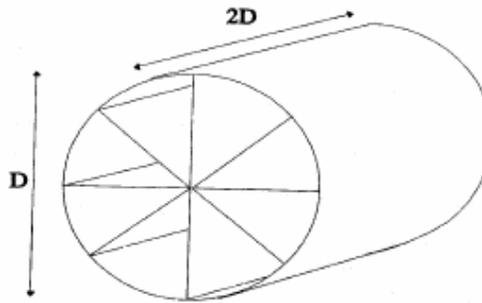
Notes: ¹ Indicates flow conditioner pressure loss.
² Indicates the ability of the flow conditioner to provide reduce or eliminate swirl.

Gambar 2.20 : Tabel Perbandingan *Flow Conditioner*
 Sumber : Jeff Deane

Adapun bentuk standar *vane*:

1. *Etoile Flow Straightener*

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



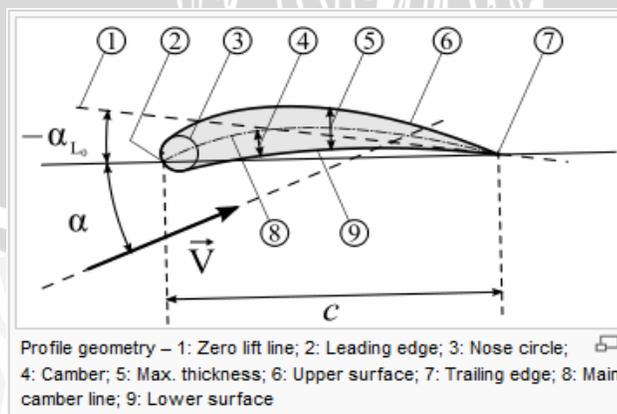
Gambar 2.21 : Etoile Flow Straightener
 Sumber : James E. Gallagher, 1995

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

Sedangkan dalam penentuan geometri sirip *vane* ada beberapa teori yang mendasari diantaranya adalah yang digunakan pada *NACA airfoil*.

NACA airfoil adalah bentuk *airfoil* pada sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)*. Bentuk dari *NACA airfoil* ini dijelaskan dengan penggunaan susunan angka yang mengikuti kata *NACA* tersebut. Parameter-parameter pada kode numerik tersebut juga dapat dimasukkan dalam persamaan untuk menghasilkan potongan penampang *airfoil* yang tepat dan untuk menghitung propertisnya

Adapun bagian-bagian dari profil *airfoil* seperti yang dijelaskan pada gambar 2.22 dibawah ini yaitu:



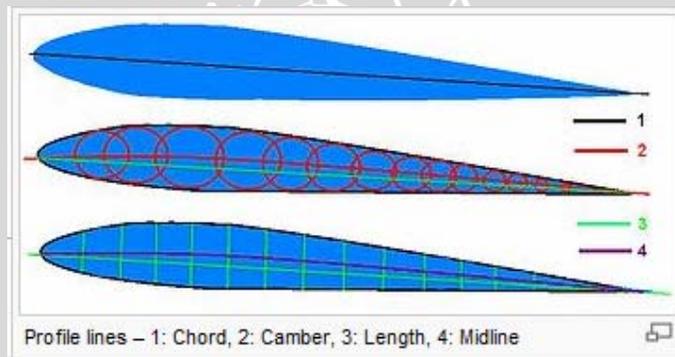
Gambar 2.22 : Profil Geometri *Airfoil*

Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil

Keterangan gambar:

1. Zero lift line
2. Leading edge
3. Nose circle
4. Camber
5. Maximum thickness
6. Upper surface
7. Trailing edge
8. Main camber line
9. Lower surface

Sedangkan untuk profil garis pada airfoil ini dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.23 : Profil Garis

Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil

Keterangan gambar:

1. Chord
2. Camber
3. Length
4. Midline

Adapun beberapa macam dari *NACA airfoil* ini yaitu:

1. *4 - digit series*

Adapun sistem penyusunan untuk tipe ini yaitu:

- a. Untuk angka pertama menjelaskan tentang nilai maksimum dari *camber* terhadap posisi *chord*
- b. Untuk angka kedua menjelaskan titik nilai maksimum *camber* dari *leading edge* terhadap posisi *chord*
- c. Untuk angka ketiga menjelaskan nilai maksimum *thickness* dari *airfoil* terhadap posisi *chord*

Contoh: *NACA 2412 airfoil* mempunyai nilai maksimum *camber* 2% yang terletak pada 40% (0.4 *chord*) dari *leading edge* dengan nilai ketebalan maksimum 12% terhadap posisi *chord*.

Untuk seri ini paling banyak diaplikasikan pada pesawat-pesawat terbang.

2. *5 - digit series*

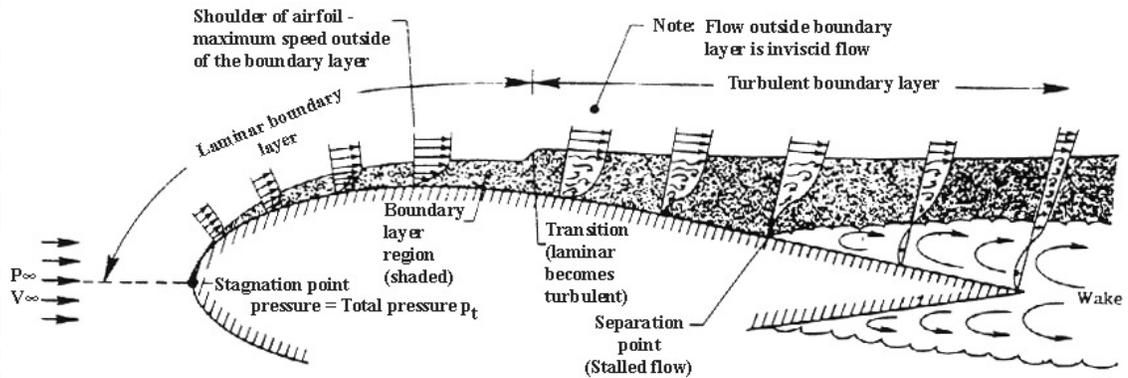
3. *6 - digit series*

4. *7 - digit series*

5. *8 - digit series*

6. *16 - digit series*

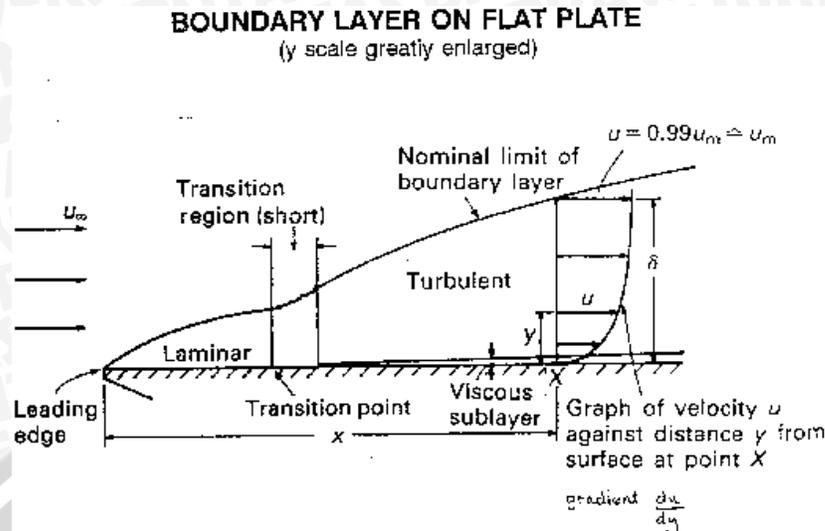
Dalam penelitian ini tipe *vane* yang digunakan adalah tipe *flat plate* yang merupakan acuan dasar dalam menentukan geometri *airfoil* dimana fenomena aliran yang terjadi hampir sama dengan aliran fluida pada *airfoil* seperti ditunjukkan pada gambar 2.24 dan 2.25 berikut.



Gambar 2.24 : Aliran fluida pada *airfoil*

Sumber : Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T.1994 : 388

Saat aliran fluida berada pada *stagnation point*, aliran terbagi menjadi dua yang mengalir disekitar penampang *airfoil* dan lapisan batas terbentuk pada kedua sisi baik atas maupun bawah permukaan penampang *airfoil*. Lapisan batas membagi daerah aliran menjadi 2 (dua) daerah. Daerah yang pertama berada di dalam lapisan batas dimana pada daerah ini viskositas sangat dominan sehingga menyebabkan timbulnya gaya hambat (*drag*) pada permukaan benda. Sedangkan daerah kedua berada di luar lapisan batas dimana pada daerah kedua kecepatan fluida adalah kecepatan *freestream* (aliran bebas) dan terjadi gaya geser fluida menyebabkan perbedaan kecepatan normal makin membesar terhadap permukaan, sehingga gaya geser semakin besar untuk mendorong fluida mendekati permukaan. Saat lapisan batas yang tipis tersebut menjadi besar, maka perbedaan kecepatan menjadi kecil dan tegangan geser menurun sampai tidak cukup lagi untuk mendorong fluida lambat yang dekat permukaan. Daerah ini disebut lapisan batas laminer seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.25 berikut.



Gambar 2.25 : Aliran fluida pada *flat plate*

Sumber : Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T.1994 : 390

Saat aliran fluida tersebut tidak mampu mendorong dan cenderung berotasi maka daerah ini disebut lapisan batas transisi. Hal ini menyebabkan gerak fluida secara berangsur-angsur menjadi turbulen. Pada daerah ini terjadi transfer momentum pada fluida di kedua lapisan tersebut sehingga efek bersih momentum menjadi meningkat pada lapisan batas. Daerah ini disebut lapisan batas turbulen. Perubahan dari transisi menuju ke aliran turbulen terjadi pada jarak tertentu dari *stagnation point* tergantung dari kondisi aliran dan bentuk permukaan.

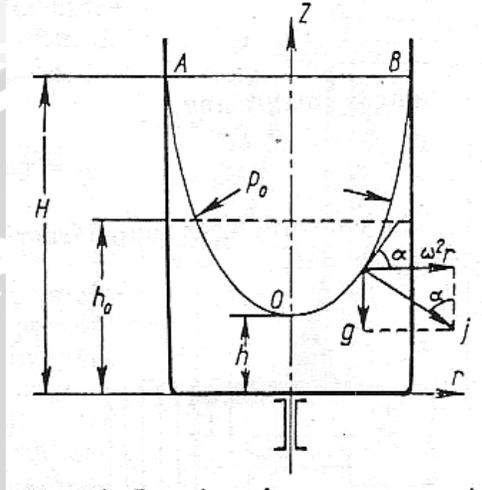
Sedangkan *separation point* terjadi apabila ada kenaikan tekanan (*pressure gradient*) dan sesudahnya terjadi *viscous wake*. Hal ini terjadi karena terjadinya perbedaan momentum pada aliran fluida pada daerah luar dan dalam pada lapisan batas. Akibatnya fluida tersebut akan cepat diam dan sangat memungkinkan untuk berbalik arah dan mengangkat lapisan batas dari permukaan dan timbul *wake*.

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

Ketika *vane* dipasang pada hilir belokan, efek pelurusan aliran oleh *vane* karena pengurangan *vortex*, sudah mulai berpengaruh terhadap aliran fluida meskipun aliran belum melewati *vane*. Jadi intensitas *vortex* sedikit demi sedikit berkurang, semakin

dekat dengan *vane* semakin besar pengaruh pelurusan aliran dan aliran akan benar-benar lurus setelah melewati *vane*.

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



Gambar 2.26 : Putaran vessel terbuka terhadap sumbu vertikal

Sumber : Boris Nekrasov, 1960 : 45

Fenomena aliran melewati *vane* sama seperti fenomena fluida pada *rotational* vessel. Gambar 2.26 merupakan gambar sebuah vessel silindris terbuka berisi cairan, yang berputar terhadap sumbu vertikal dengan kecepatan sudut ω . Yang terjadi adalah cairan di dalamnya ikut berputar baik yang berhubungan langsung dengan dinding vessel maupun yang tidak dan permukaan cairan menjadi mencekung. Cairan yang ikut berputar memiliki kecepatan sudut yang berbeda-beda sesuai dengan letak cairan terhadap radius dari pusat vessel. Hal ini dikarenakan oleh tegangan geser cairan akibat viskositas sehingga mengakibatkan munculnya dua gaya yang bekerja pada cairan; gaya gravitasi dan gaya sentrifugal, yang berurutan bernilai g , dan $\omega^2 r$, tiap satuan massa fluida.

Gaya yang bekerja pada tiap bagian cairan merupakan resultan dari gaya sentrifugal ($\omega^2 r$) dan gaya gravitasi (g). Karena gaya sentrifugal yang terjadi, maka resultan gaya yang bekerja pada cairan meningkat dengan bertambahnya radius dari pusat vessel, sementara kecenderungan terhadap sumbu horizontal menurun. Pada gambar 2.26 dari kurva AOB dapat dilihat bahwa

$$\tan \alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{\omega^2 r}{g}$$

Sehingga

$$dz = \frac{\omega^2 r}{g} dr$$

Dan diintegrasikan maka

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C$$

Dimana

z = Posisi pada sumbu z

r = Posisi pada sumbu r atau radius dari pusat vessel

g = Percepatan gravitasi

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

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

2.12 Hipotesa

Dengan bertambahnya panjang *vane* akan meningkatkan kemampuan *vane* untuk meluruskan aliran dan akibat adanya pengaruh viskositas dan tegangan geser menyebabkan adanya induksi yang mengakibatkan *twin eddy* yang terbentuk mempunyai profil lingkaran dengan nilai c minimum sehingga kerugian *head* aliran fluida yang melewati belokan pipa akan berkurang.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

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

3.3 Prosedur Penelitian

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

1. Studi Literatur

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

2. Observasi Lapangan

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

3. Pembuatan Alat

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

4. Perancangan Instalasi

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

3.4 Peralatan Penelitian

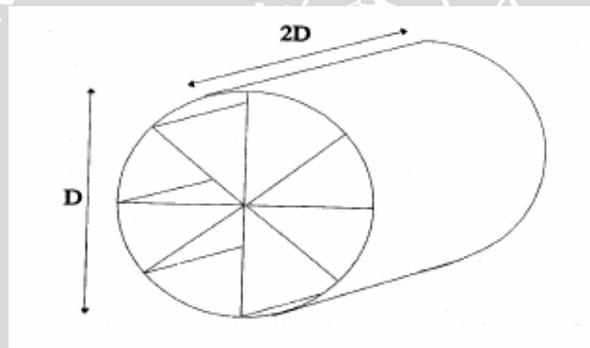
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pipa PVC

Digunakan sebagai jaringan pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini digunakan diameter pipa PVC 1,25 inchi. Belokan pipa yang diuji berjumlah lima. Belokan pipa uji yang pertama tanpa adanya penambahan *vane*, belokan pipa uji yang selanjutnya dengan penambahan *vane* dengan panjang 2D, 3D, 4D dan 5D

2. Vane

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



Gambar 3.1 : Etoile Flow Straightener

- Diameter tabung = $D = 1,25 \text{ inchi} = 1,25 \times 25,4 \text{ mm} = 31,75 \text{ mm}$
- Panjang *vane* = 63,5 mm; 95,25 mm; 127 mm; 158,75 mm

3. Pompa

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

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

- Laju aliran = 1,35 liter/ detik
- Head pompa = 15 m
- Putaran = 3000 rpm
- Keluaran motor penggerak = 0,35 Kw

4. Bak Penampung

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

5. Rotameter

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



Gambar 3.2 Rotameter

6. Katup (valve)

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.

7. Manometer

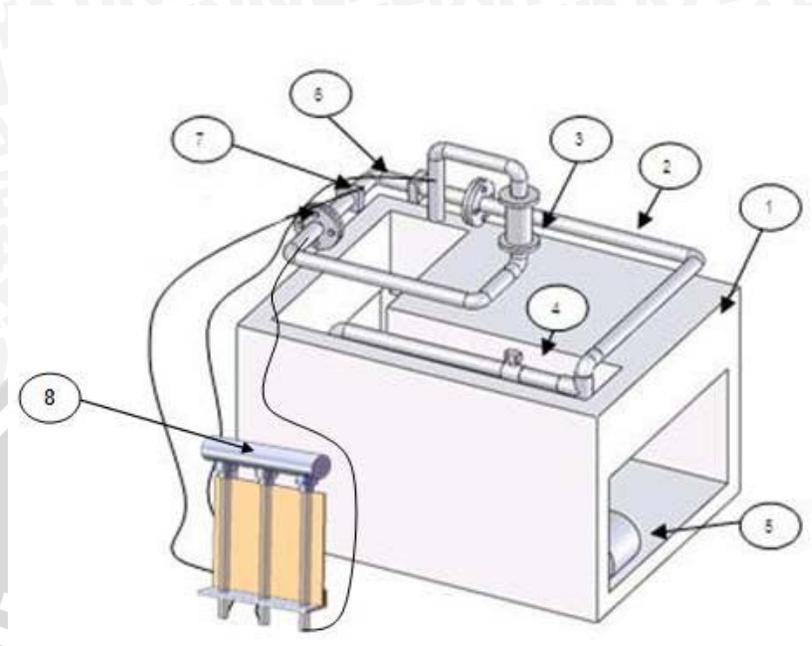
Manometer yang digunakan adalah piezometer yang berfungsi untuk mengukur *head* fluida yang mengalir sebelum belokan pipa, sesudah melewati belokan pipa, dan setelah melewati *vane*.



Gambar 3.3 Manometer Defleksi

3.5 Instalasi Penelitian

Susunan peralatan pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5 :



Gambar 3.4 Instalasi Uji

Keterangan :

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1. Bak penampung | 6. Belokan uji |
| 2. Pipa | 7. Peletakan <i>vane</i> |
| 3. Rotameter | 8. Manometer |
| 4. Katup/ Keran | |
| 5. Pompa | |

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

Variabel bebas dalam penelitian adalah :

- Debit aliran : 1000 liter/jam, 1100 liter/jam, 1200 liter/ jam, 1300 liter/ jam, 1400 liter/ jam, 1500 liter/ jam, 1600 liter/ jam, 1700 liter/ jam, 1800 liter/ jam, 1900 liter/jam, 2000 liter/ jam.

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

- Kerugian *Head* pada belokan pipa yang diamati
- Koefisien kerugian *head* pada belokan pipa.

3. Variabel terkontrol yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:
 - Panjang *vane* : 63,5 mm; 95,25 mm; 127 mm; 158,75 mm

3.7 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

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

3.8 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui hubungan pengaruh variasi panjang *vane* terhadap kerugian *head* agar hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.

3.8.1 Rancangan Data Penelitian

Viskositas kinematik air (ν) = m²/s

Temperatur suhu air (T) = 23° C

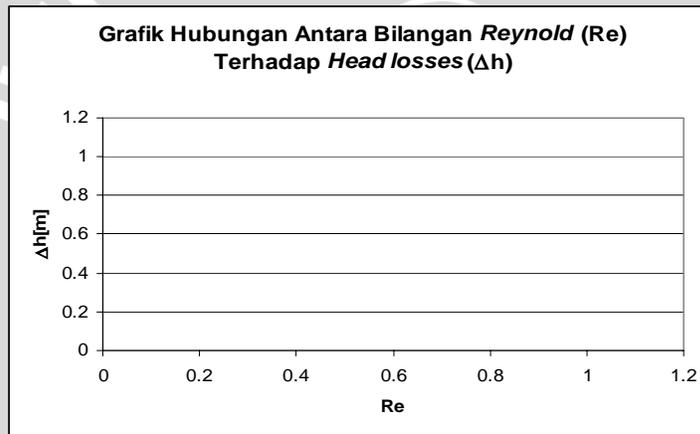
Tabel 3.1 Rancangan data penelitian yang diperoleh

Debit (Q) [liter/jam]	Tekanan sebelum belokan (H ₁) [mmH ₂ O]	Tekanan sebelum <i>flow</i> <i>conditioner</i> (H ₁) [mmH ₂ O]	Tekanan sesudah <i>flow</i> <i>conditioner</i> (H ₁) [mmH ₂ O]
1000	P ₁₀	P ₂₀	P ₃₀
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000	P ₂₁	P ₃₁	P ₄₁

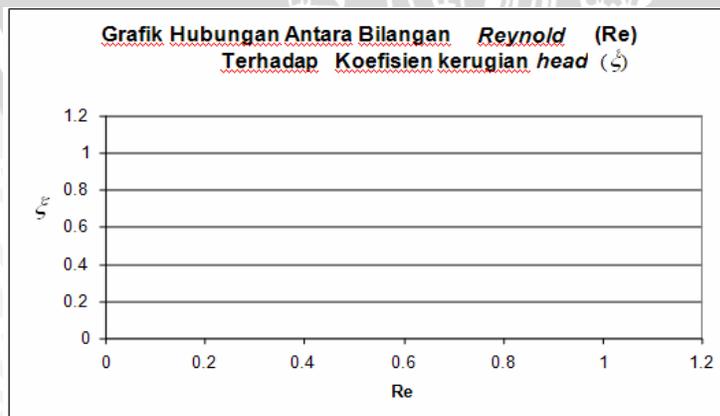
Tabel 3.2 Pengolahan Data

Debit (Q) [m ³ /s]	Kec. (v) [m/s]	Bil. Reynold (Re)	Head losses pada belokan pipa (ΔH_{12}) [mH ₂ O]					Head losses pada flow conditioner (ΔH_{23}) [mH ₂ O]					Head losses pada sistem (ΔH_{13}) [mH ₂ O]				
			Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D	Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D	Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D
Q ₁	v ₁	Re ₁	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₁	N ₁	O ₁
...
...
...
...
...
...
...
...
Q ₁₁	V ₁₁	Re ₁₁	A ₁₁	B ₁₁	C ₁₁	D ₁₁	E ₁₁	F ₁₁	G ₁₁	H ₁₁	I ₁₁	J ₁₁	K ₁₁	L ₁₁	M ₁₁	N ₁₁	O ₁₁

3.8.2 Grafik Hubungan Antar Variabel

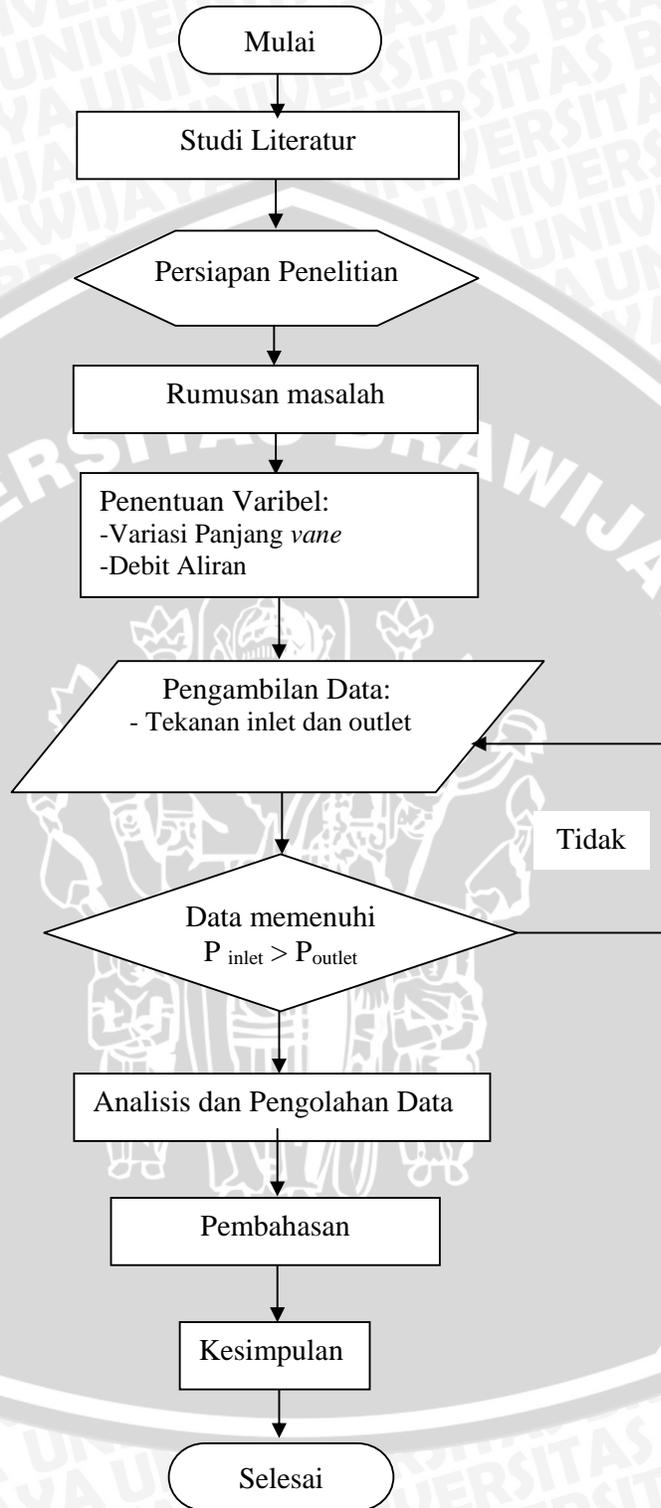


Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara Bilangan Reynold terhadap Kerugian Head pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa



Gambar 3.6 Grafik Hubungan antara Bilangan Reynold terhadap Koefisien Kerugian Head pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa

3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7. Diagram Alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Untuk bisa menghitung besarnya kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa dan mengetahui pengaruh variasi panjang *vane* terhadap besarnya kerugian head tersebut, perlu data yang mendukung hal tersebut. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *manometer* dengan fluida air pada titik sebelum belokan (H_1), titik tepat setelah belokan (H_2), dan titik setelah melewati *vane* (H_3) sehingga data awal yang dihasilkan berupa tekanan dalam satuan milimeter.

4.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Kecepatan (v), Beda Tekanan (ΔP) dan Kerugian *Head* (ΔH), dimana data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

- Diameter dalam pipa (D) = 31,75 mm
- Suhu air (T) = 23⁰C
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- Debit aliran (Q) dengan variasi = 1000 – 2000 liter/ jam

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

- Densitas (ρ) = 997,54 Kg/m³
- Viskositas kinematik (ν) = 0,941.10⁻⁶ m²/s

Contoh perhitungan data :

- Luas penampang pipa (A)

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

- Kecepatan Aliran Fluida (v)

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

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

$$= \frac{2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{7,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,35117 \text{ m/s}$$

- Bilangan *Reynold* (Re)

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

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

$$Re = \frac{0,35117 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,03175 \text{ m}}{0,941 \cdot 10^{-6}} = 11848,82054$$

Angka ini menunjukkan bahwa aliran fluida pada pipa adalah turbulen.

- Data *head losses* yang terlihat di manometer dicatat pada tiap titiknya dan dihitung ΔH dengan ketentuan sebagai berikut:

- $\Delta H_1 =$ beda tekanan pada belokan $= H_1 - H_2$
- $\Delta H_2 =$ beda tekanan pada *vane* $= H_2 - H_3$
- $\Delta H_3 =$ beda tekanan pada sistem $= H_1 - H_3$

ΔH yang terjadi pada belokan pipa tanpa *vane* pada debit 1000 liter/ jam:

$$H_1 = 172.5 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.1725 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_2 = 163.5 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.1635 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_3 = 162 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.162 \text{ mH}_2\text{O}$$

Sehingga nilai ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 0.1725 \text{ mH}_2\text{O} - 0.1635 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,009 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= 0.1635 \text{ mH}_2\text{O} - 0.162 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,0015 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_3 &= 0.1725 \text{ mH}_2\text{O} - 0.162 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0.0105 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

➤ Kerugian tekanan (Δp)

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

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta p_1}{\rho \cdot g} \rightarrow \Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H_1$$

$$= 997,54 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,009 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 880,7281 \text{ Pa} = \frac{880,7281 \text{ Pa}}{101325,3354 \text{ Pa}} \cdot 1 \text{ bar}$$

$$= 0,000869 \text{ bar}$$

➤ Koefisien Kerugian *Head*

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

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

$$= \frac{(0,09 \text{ m}) \cdot (2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{(0,35117 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 13,8146$$

4.3 Data Hasil Penelitian

Dari pengolahan data pada subbab 4.2 di atas dapat ditabelkan sebagai berikut:

1. Kecepatan (v)

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

Debit (L/h)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m/s)	Bil Reynold (Re)
1000	0,00027778	0,35117292	11848,82054
1100	0,00030556	0,38629021	13033,70260
1200	0,00033333	0,42140750	14218,58465
1300	0,00036111	0,45652479	15403,46671
1400	0,00038889	0,49164208	16588,34876
1500	0,00041667	0,52675938	17773,23082
1600	0,00044444	0,56187667	18958,11287
1700	0,00047222	0,59699396	20142,99493
1800	0,00050000	0,63211125	21327,87698
1900	0,00052778	0,66722854	22512,75903
2000	0,00055556	0,70234584	23697,64109

2. Kerugian Head (ΔH)

Tabel 4.2. Kerugian Head Hulu dan Hilir Belokan Pipa (ΔH_1)

No	Bil. Reynold (Re)	Kerugian Head ΔH_1 (mH ₂ O)				
		Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D
1	11848,8205	0,009	0,0065	0,006	0,005	0,0035
2	13033,7026	0,01	0,0075	0,0065	0,006	0,0045
3	14218,5847	0,012	0,009	0,0085	0,0065	0,005
4	15403,4667	0,013	0,011	0,0085	0,006	0,0065
5	16588,3488	0,015	0,012	0,009	0,008	0,006
6	17773,2308	0,0155	0,013	0,011	0,0085	0,007
7	18958,1129	0,016	0,0145	0,0105	0,009	0,0075
8	20142,9949	0,017	0,015	0,0115	0,01	0,0085
9	21327,8770	0,021	0,0155	0,0135	0,0105	0,011
10	22512,7590	0,022	0,0155	0,015	0,013	0,0115
11	23697,6411	0,0235	0,016	0,016	0,014	0,013

3. Penurunan tekanan (Δp)

Tabel 4.3. Penurunan Tekanan Hulu dan Hilir Belokan Pipa (Δp_1)

No	Bil. Reynold (Re)	Beda Tekanan Δp_1 (bar)				
		Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D
1	11848,8205	0,00087	0,00063	0,00058	0,00048	0,00034
2	13033,7026	0,00097	0,00072	0,00063	0,00058	0,00043
3	14218,5847	0,00116	0,00087	0,00082	0,00063	0,00048
4	15403,4667	0,00126	0,00106	0,00082	0,00058	0,00063
5	16588,3488	0,00145	0,00116	0,00087	0,00077	0,00058
6	17773,2308	0,0015	0,00126	0,00106	0,00082	0,00068
7	18958,1129	0,00155	0,0014	0,00101	0,00087	0,00072
8	20142,9949	0,00164	0,00145	0,00111	0,00097	0,00082
9	21327,8770	0,00203	0,0015	0,0013	0,00101	0,00106
10	22512,7590	0,00212	0,0015	0,00145	0,00126	0,00111
11	23697,6411	0,00227	0,00154	0,00155	0,00135	0,00126

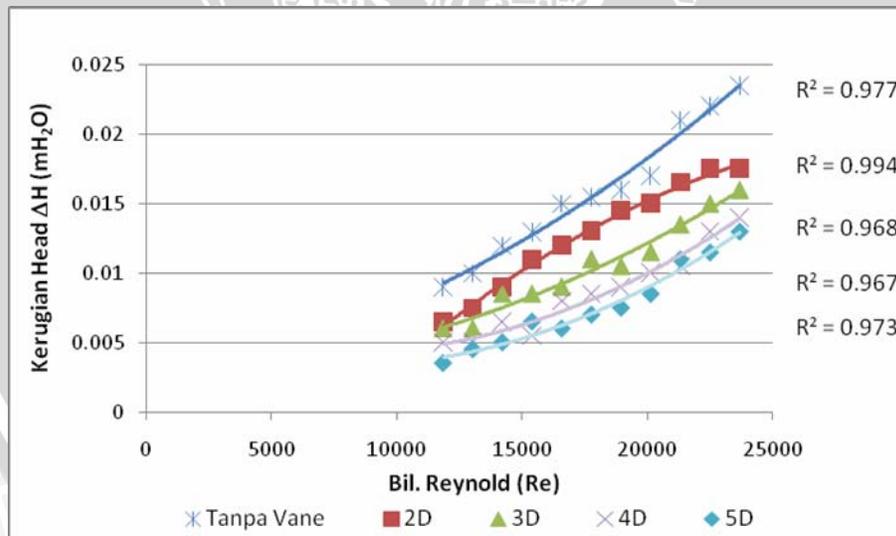
4. Koefisien Kerugian Head (ζ)

Tabel 4.4. Koefisien Kerugian *Head* pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa (ζ)

No	Bil. Reynold (Re)	Koefisien kerugian <i>Head</i> (ζ)				
		Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D
1	11848,8205	1,4319	1,0341	0,9546	0,7955	0,5568
2	13033,7026	1,5910	1,1932	1,0341	0,9546	0,7159
3	14218,5847	1,9091	1,4319	1,3523	1,0341	0,7955
4	15403,4667	2,0682	1,7500	1,3523	0,9546	1,0341
5	16588,3488	2,3864	1,9091	1,4319	1,2728	0,9546
6	17773,2308	2,4660	2,0682	1,7500	1,3523	1,1137
7	18958,1129	2,5455	2,3069	1,6705	1,4319	1,1932
8	20142,9949	2,7046	2,3864	1,8296	1,5910	1,3523
9	21327,8770	3,3410	2,4660	2,1478	1,6705	1,7500
10	22512,7590	3,5001	2,4660	2,3864	2,0682	1,8296
11	23697,6411	3,7387	2,5455	2,5455	2,2273	2,0682

4.4 Grafik Hasil Penelitian

4.4.1 Analisa Grafik Hubungan antara Bilangan *Reynold* (Re) Terhadap Kerugian *Head* (ΔH) pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Bilangan *Reynold* terhadap Kerugian *Head* pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa

Gambar 4.1 di atas menunjukkan grafik hubungan antara bilangan *Reynold* terhadap kerugian *head* (ΔH) pada suatu fluida yang mengalir melewati belokan tanpa pemasangan *vane*, serta belokan dengan pemasangan *vane* dengan variasi panjang 2D

(63.5 mm), 3D (95.25) mm, 4D (127 mm) dan 5D (158.75) mm. Semua *vane* dipasang pada hilir belokan.

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

Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 kerugian *head* yang terjadi pada variasi tanpa pemasangan *vane* sebesar 0,009 mH₂O, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,01 mH₂O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 63,5 mm adalah sebesar 0,0065 mH₂O, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,0075 mH₂O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 95,25 mm adalah sebesar 0,006 mH₂O, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 kerugian *head*nya sebesar 0,0065 mH₂O dan akan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 127 mm adalah sebesar 0,005 mH₂O, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 kerugian *head*nya sebesar 0,006 mH₂O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 158,75 mm adalah sebesar 0,0035 mH₂O, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 kerugian *head*nya sebesar 0,0045 mH₂O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Aliran turbulen tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl/vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl/vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga kerugian *head* yang terjadi semakin besar.

Fenomena di atas menunjukkan adanya kecenderungan meningkatnya kerugian *head* seiring dengan penambahan kecepatan. Hal ini menyebabkan fluida ketika melewati belokan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*) yaitu terjadi selisih antara tekanan di hulu (p_{in}) dengan tekanan di hilir (p_{out}). Adapun persamaan *head*

losses, yang merupakan penurunan dari persamaan *head static*, yaitu $\Delta h = \frac{\Delta p}{\gamma}$, hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara *head losses* dan perbedaan tekanan adalah sebanding dan memiliki kecenderungan yang sama dengan meningkatnya bilangan *Reynold* pada aliran fluida. Pada belokan pipa terjadi penurunan *head static* aliran fluida yang disebabkan oleh berkurangnya *head total* fluida karena adanya *losses*, baik oleh *vortex/swirl* pada aliran maupun karena munculnya *twin eddy* akibat gaya sentrifugal pada belokan. Jika *head velocity* diasumsikan konstan karena beracuan pada hukum kontinuitas fluida, yakni massa fluida yang mengalir sepanjang *streamtube* adalah konstan $A_1.V_1 = A_2.V_2$, maka penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head static* fluida, hal ini sesuai dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida real yaitu:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{2 \cdot g} + \sum h$$

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa baik fluida yang melewati belokan dengan *vane* maupun tanpa *vane*, kerugian *head* (ΔH) cenderung bertambah dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Hal ini terjadi karena ketika bilangan *Reynold* fluida meningkat dengan viskositas fluida tetap, energi kinetik fluida yang berpotensi menyebabkan pergerakan partikel antar lapisan fluida meningkat sedangkan viskositas yang berperan meredam pergerakan tersebut tetap konstan. Hal ini sesuai dengan rumusan bilangan *Reynold* itu sendiri yaitu:

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

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

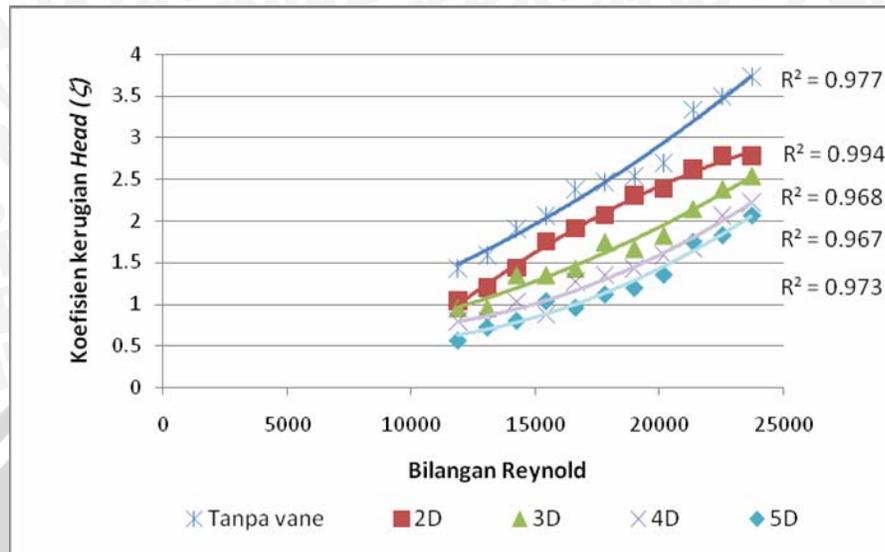
Untuk aliran fluida yang melewati belokan tanpa *vane*, ΔH yang dihasilkan cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan pemasangan *vane*. ΔH paling kecil dihasilkan aliran yang melewati belokan dengan panjang 158,75 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang *vane* maka kerugian *head* yang dihasilkan semakin kecil karena profil *twin eddy* yang terbentuk pada belokan akan mendekati bentuk lingkaran. Karena ada pengaruh dari viskositas fluida

dan tegangan geser antar fluida yang menimbulkan aliran induksi dan dapat mempengaruhi aliran fluida sebelum memasuki belokan maka terbentuknya *vortex* dan *twin eddy* yang tidak berprofil lingkaran dapat diminimalisir. Hal ini disebabkan karena pada hilir belokan (sebelum masuk *vane*) tekanan fluida lebih tinggi daripada belokan yang tanpa pemasangan *vane* dan *vane* dengan variasi panjang yang lain sehingga penurunan tekanan yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini menyebabkan nilai kerugian *head* yang dihasilkan juga semakin rendah sehingga nilai koefisien *side ratio* (c) juga semakin rendah. Nilai koefisien c yang rendah mengindikasikan bahwa *twin eddy* yang terjadi pada belokan akan memiliki profil yang mendekati bentuk lingkaran.

Jika dihubungkan dengan rumusan *Abramovich* $\zeta_{\text{bend}}=0,73.a.b.c$; semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran dapat diartikan pula bahwa *side ratio* (c) semakin mendekati 2,5 yang merupakan nilai optimum *side ratio* untuk menghasilkan koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) yang semakin rendah. Sehingga semakin rendah koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) semakin kecil pula *head losses* (H); $H = \zeta_{\text{bend}} \frac{v^2}{2g}$.

Sedangkan pada belokan yang tanpa pemasangan *vane* tidak ada pengurangan intensitas *twin eddy* dan juga *vortex* sehingga ΔH yang dihasilkan jauh lebih besar.

4.4.2 Analisa Grafik Hubungan antara Bilangan *Reynold* (Re) Terhadap Koefisien Kerugian *Head* (ζ) pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara bilangan *Reynold* terhadap koefisien kerugian *head* pada hulu dan hilir belokan pipa

Gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik hubungan antara bilangan *Reynold* terhadap koefisien kerugian *head* (ζ) pada suatu fluida yang mengalir melewati belokan tanpa pemasangan *vane*, serta belokan dengan pemasangan *vane* dengan variasi panjang 2D (63.5 mm), 3D (95.25) mm, 4D (127 mm) dan 5D (158.75) mm. Semua *vane* dipasang pada hilir belokan.

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

Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi tanpa pemasangan *vane* sebesar 1,4319, pada bilangan *Reynold* 13033,7026 koefisien kerugian *head*nya sebesar 1,5910 dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 63.5 mm sebesar 1,0341, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 koefisien kerugian *head* sebesar 1,1932 dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan

Reynold 11848,8205 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 95.25 mm sebesar 0,9546, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 koefisien kerugian *head*nya sebesar 1,0341 dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 127 mm sebesar 0,7955, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 koefisien kerugian *head*nya sebesar 0,9546 dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 11848,8205 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* sepanjang 158,75 mm sebesar 0,5568, pada bilangan *Reynold* 13033.7026 koefisien kerugian *head*nya sebesar 0,7159 dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Turbulensi tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl/ vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl/ vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga koefisien kerugian *head* yang terjadi semakin besar.

Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Koefisien Kerugian *Head* adalah perbandingan penurunan tekanan yang diakibatkan oleh kehilangan energi dengan energi kinetik fluida yang dialirkan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi akan mengakibatkan kerugian *head* pada fluida, akibat adanya *losses* ketika fluida melewati belokan. *Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida. Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Adanya viskositas dan pengaruh gaya dinding menyebabkan kecepatan fluida tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.

Aliran fluida yang melewati belokan tanpa *vane* menghasilkan ΔH yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan *vane*, terutama *vane* dengan panjang 158,75 mm 127 mm, 95.25 mm dan 63.5 mm. Hal ini

terjadi karena tanpa pemasangan *vane*, intensitas *losses* akan lebih besar karena peluang terbentuknya *vortex* dan *twin eddy* akibat gaya sentrifugal juga semakin besar.

Untuk belokan dengan pemasangan *vane*, ΔH minimum diperoleh dengan pemasangan panjang *vane* sebesar 158.75 mm jika dibandingkan dengan panjang 127 mm, 95.25 mm dan 63.5 mm. Sedangkan pemasangan *vane* sepanjang 63.5 mm menghasilkan ΔH paling tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin panjang *vane* maka intensitas *twin eddy* dan *vortex* yang dihasilkan juga akan semakin kecil dan profil *twin eddy* yang dihasilkan akan mendekati bentuk lingkaran. *Twin eddy* sendiri berhubungan langsung dengan penurunan tekanan sehingga semakin rendah penurunan tekanan pada belokan, karena pada hilir belokan tekanan yang dihasilkan lebih tinggi, maka *head losses* yang terjadi semakin kecil. Jika dihubungkan dengan rumusan *Abramovich* $\zeta_{\text{bend}}=0,73.a.b.c$; semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran dapat diartikan pula bahwa *side ratio* (*c*) semakin mendekati 2,5 yang merupakan nilai optimum *side ratio* untuk menghasilkan koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) yang semakin rendah. Semakin rendah *head losses* (*h*) koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) semakin

mencapai nilai yang rendah; $\zeta_{\text{bend}} = \frac{h}{\frac{v^2}{2g}}$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa pemasangan *vane* akan mempengaruhi nilai kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

- Semakin panjang *vane* maka kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa akan semakin rendah, hal ini disebabkan *twin eddy* yang terbentuk akan mempunyai profil yang mendekati bentuk lingkaran.
- Pemasangan *vane* juga akan mempengaruhi nilai koefisien kerugian *head* aliran fluida dimana semakin panjang *vane* maka koefisien kerugian *head* aliran fluida akan semakin rendah.
- Semakin tinggi debit air maka kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa akan semakin tinggi pula.
- Kerugian *head* (ΔH) terendah didapatkan pada *vane* dengan variasi panjang 158.75 mm, untuk debit 1000 L/jam maka ΔH yang dihasilkan adalah 3.5 mmH₂O sedangkan untuk debit 2000 L/jam maka ΔH yang dihasilkan adalah 13 mmH₂O.
- Koefisien kerugian *head* (ζ) terendah didapatkan pada *vane* dengan variasi panjang 158.75 mm, untuk debit 1000 L/jam maka ζ yang dihasilkan adalah 0.5568 sedangkan untuk debit 2000 L/jam maka ζ yang dihasilkan adalah 2.0682.

5.2 Saran

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

1. Variasi bilangan *Reynold* yang lebih tinggi agar dapat diketahui efek dari pemasangan *vane* tersebut pada bilangan *Reynold* yang lebih tinggi dari penelitian ini.
2. Letak/posisi pemasangan *vane* pada belokan pipa dan besar sudut celah *vane* yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kerugian *head* dan koefisien kerugian *head*.
3. Perlu adanya analisa tentang visualisasi pola aliran fluida sebelum dan setelah melewati *vane*.

DAFTAR PUSTAKA

- Daugherty. Robert L, 1989: *Fluid Mechanics With Engineering Application*, McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T; 1994: *Introduction To Fluid Mechanics* ; John Wiley & Sons, Inc. Toronto
- Gallagher, James E; 1996 : *Flow conditioner profile plate for More Accurate Measurement of Fluid Flow* ; Jurnal ; US Patent 5529093
- Kegel, Thomas; 1999 : *Flow Meter Instalation Effects* ; Jurnal ; Colorado Engineering Experiment Station Inc, Colorado
- Lundberg, Don ; 2000 : *Effects of Flow Conditioning on Liquid Measurements* ; Jurnal ; Vortab Company. San Marcos, CA.
- Nekrasov, Boris 1960: *Hydraulics For Aeronautical Engineers* ; Peace Publishers, Moscow
- Papanastasiou, Tasos.C.; 1993: *Applied Fluid Mechanics* ; Prentice-Hall Inc, New Jersey
- Potter, Merle.C, and Wiggert, David.C; 1997: *Fluid Mechanics* ; Prentice-Hall Inc, New Jersey
- Streeter, Victor. L and Wylie, E. Benjamin; 1996: *Mekanika Fluida* ; Mc Graw Hill Book Company, New York
- White, Frank. M.;1988: *Fluid Mechanics* ;Mc Graw Hill Book Company, New York
- Witanto, Yovan; 2004: *Pengaruh perforasi terhadap perilaku vortex dibelokan dan penurunan tekanan pada instalasi pipa* ; Thesis; Universitas Brawijaya, Malang
- <http://www.flowconditioner.com/products/flowc.htm> (diakses 19 November 2009)
- http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil (diakses 20 Desember 2009)

LAMPIRAN A

Tabel Properties Air (*Water*) dalam satuan SI

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

LAMPIRAN B

Tabel Data Hasil Pengukuran Beda Tekanan Pada Belokan Pipa

Debit (Q) [liter/h]	Tanpa vane			Vane 2D			Vane 3D		
	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum vane (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah vane (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum vane (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah vane (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum vane (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah vane (p ₃) [cm]
1000	17,25	16,35	16,2	17,65	17	16,3	17,65	17,05	16,3
1100	18,35	17,35	17,2	18,65	17,9	17,2	18,8	18,15	17,3
1200	19,35	18,15	18	19,8	18,9	18,3	20,1	19,25	18,35
1300	20,75	19,45	19,3	21,25	20,15	19,4	21,5	20,65	19,6
1400	22,15	20,65	20,5	22,35	21,15	20,3	22,75	21,85	20,65
1500	23,45	21,9	21,75	24,2	22,9	21,85	24,4	23,3	22
1600	24,85	23,25	23,1	25,75	24,3	23,2	26,1	25,05	23,5
1700	26,35	24,65	24,35	26,85	25,35	24,3	27,35	26,2	24,6
1800	28,25	26,15	25,85	28,9	27,35	25,9	29,1	27,75	26,1
1900	29,65	27,45	27,15	30,75	29,2	27,5	30,9	29,4	27,6
2000	31,5	29,15	28,6	31,85	30,25	28,65	32,2	30,6	28,85

Debit (Q) [liter/h]	Vane 4D			Vane 5D		
	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum vane (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah vane (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum vane (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah vane (p ₃) [cm]
1000	17,9	17,4	16,5	18,1	17,75	16,7
1100	19	18,4	17,4	19,3	18,85	17,7
1200	20,5	19,85	18,5	20,8	20,3	18,9
1300	21,8	21,2	19,7	22	21,35	19,8
1400	23,1	22,3	20,8	23,4	22,8	21
1500	24,6	23,75	22,1	24,8	24,1	22,3
1600	26,3	25,4	23,7	26,5	25,75	23,9
1700	27,5	26,5	24,7	28	27,15	25,1
1800	29,4	28,35	26,35	29,7	28,6	26,5
1900	31,2	29,9	27,75	31,5	30,35	28

2000

32,4

31

28,9

32,6

31,3

29,2

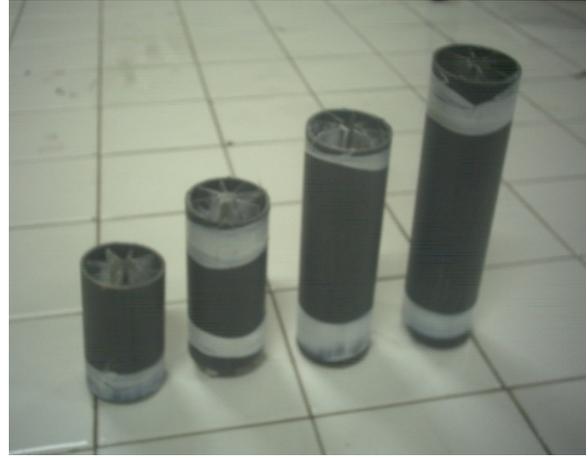
LAMPIRAN C

Tabel Data Hasil Perhitungan Kerugian *Head* Pada Belokan Pipa

Debit (Q) [m ³ /s]	Kec. (v) [m/s]	Bil. Reynold (Re)	<i>Head losses</i> pada belokan pipa (ΔH_{12}) [mH ₂ O]					<i>Head losses</i> pada vane (ΔH_{23}) [mH ₂ O]					<i>Head losses</i> pada sistem (ΔH_{13}) [mH ₂ O]				
			Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D	Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D	Tanpa Vane	2D	3D	4D	5D
			0,00027778	0,35117292	11848,82054	0,009	0,0065	0,006	0,005	0,0035	0,0015	0,007	0,0075	0,009	0,0105	0,0105	0,0135
0,00030556	0,38629021	13033,70260	0,01	0,0075	0,0065	0,006	0,0045	0,0015	0,007	0,0085	0,01	0,0115	0,0115	0,0145	0,015	0,016	0,016
0,00033333	0,42140750	14218,58465	0,012	0,009	0,0085	0,0065	0,005	0,0015	0,006	0,009	0,0135	0,014	0,0135	0,015	0,0175	0,02	0,019
0,00036111	0,45652479	15403,46671	0,013	0,011	0,0085	0,006	0,0065	0,0015	0,0075	0,0105	0,015	0,0155	0,0145	0,0185	0,019	0,021	0,022
0,00038889	0,49164208	16588,34876	0,015	0,012	0,009	0,008	0,006	0,0015	0,0085	0,012	0,015	0,018	0,0165	0,0205	0,021	0,023	0,024
0,00041667	0,52675938	17773,23082	0,0155	0,013	0,011	0,0085	0,007	0,0015	0,0105	0,013	0,0165	0,018	0,017	0,0235	0,024	0,025	0,025
0,00044444	0,56187667	18958,11287	0,016	0,0145	0,0105	0,009	0,0075	0,0015	0,011	0,0155	0,017	0,0185	0,0175	0,0255	0,026	0,026	0,026
0,00047222	0,59699396	20142,99493	0,017	0,015	0,0115	0,01	0,0085	0,003	0,0105	0,016	0,018	0,0205	0,02	0,0255	0,0275	0,028	0,029
0,00050000	0,63211125	21327,87698	0,021	0,0155	0,0135	0,0105	0,011	0,003	0,0145	0,0165	0,02	0,021	0,024	0,03	0,03	0,0305	0,032
0,00052778	0,66722854	22512,75903	0,022	0,0155	0,015	0,013	0,0115	0,003	0,017	0,018	0,0215	0,0235	0,025	0,0325	0,033	0,0345	0,035
0,00055556	0,70234584	23697,64109	0,0235	0,016	0,016	0,014	0,013	0,0055	0,016	0,0175	0,021	0,021	0,029	0,032	0,0335	0,035	0,034

LAMPIRAN D

Foto flow conditioner *vane* dengan berbagai variasi panjang



Dari kiri ke kanan adalah *vane* dengan variasi panjang 63,5 mm (2D), 95,25 mm (3D), 127 mm (4D) dan 158,75 mm (5D)



Vane tipe *Etoile Flow Straightener* dengan 8 sirip/plat dan diameter 31,75 mm dan panjang 63,5 mm