

**HASIL PENELITIAN**

**PENGARUH VARIASI SUDUT CABANG  
TERHADAP KOEFISIEN KERUGIAN PADA  
PENGGABUNGAN ALIRAN**

**KADIR  
P2201206007**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2008**

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Kuasa, karena hidayah dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat kami rampungkan, meskipun banyak kendala yang telah kami hadapi dalam penyusunan penelitian thesis S2 Program Pasacasarjana Teknik Mesin Unhas.

Penelitian ini merupakan salah satu syarat mutlak dalam rangkaian penyelesaian pendidikan jenjang mengister (S2) pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Penelitian yang kami usulkan ini merupakan penelitian eksperimen dengan judul “Pengaruh Variasi Sudut Cabang Terhadap Koefisien Kerugian Pada Penggabungan Aliran”

Kami mengucapkan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada bapak-bapak Komisi Penasehat : (Ketua : Prof. Dr. Ir .J. B. Manga dan Anggota : Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA.) atas arahan-arahan yang telah diberikan selama penyelesaian penelitian ini, begitupula kepada bapak Tim Penguji atas kesediannya untuk hadir serta memberikan masukan-masukan ilmiah dalam pelaksanaan seminar hasil penelitian. Arahan-arahan dari komisi penasehat dan tim penguji sangat kami harapkan demi terwujudnya tujuan penelitian ini . Tak lupa pula kami ucapkan terima kasih kepada Direktur, Pembantu Direktur I, dan Ketua Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas izin yang telah diberikannya untuk melaksanakan seminar penelitian ini, serta kepada semua pihak yang telah berperan sampai terselenggaranya seminar hasilpenelitian ini.

Makassar, Juli 2008

## ABSTRAK

**KADIR**, *Pengaruh Variasi Sudut Cabang Terhadap Koefisien Kerugian Pada Penggabungan Aliran* (dibimbing oleh J. B. Manga dan Duma Hasan).

Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar kerugian akibat melewati suatu penggabungan aliran. Aliran fluida yang melalui sistem instalasi perpipaan banyak terjadi rugi tekanan yang disebut rugi tekanan major dan rugi tekanan minor (kerugian akibat fluida melewati suatu penggabungan). Penggabungan aliran fluida pada penggabungan pipa adalah suatu proses ireversibel dimana irreversibilitas ini didalam aplikasi teknik akan menurunkan unjuk kerja dari system.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan variasi(?) pada penggabungan aliran (?)  $90^0$ ,  $75^0$ ,  $60^0$ ,  $45^0$ ,  $30^0$  dengan menggunakan pipa PVC.

Dengan variasi bilangan Reynolds (Re) antara  $1,0 \times 10^4$  hingga  $3,1 \times 10^4$  untuk aliran cabang 1-3 mengakibatkan peningkatan nilai koefisien kerugian ( $K_{1-3}$ ) antara 0,08 dan 1,33 serta ( $K_{2-3}$ ) antara 0,05 dan 1,00. Perbandingan laju aliran ( $Q_1/Q_3$ ) bervariasi antara 0,80 dan 0,93 dengan nilai koefisien total ( $K_{tot}$ ) berkisar antara 0,76 sampai 2,32. Variasi laju aliran cabang 2-3, pada Re dari 10361 sampai 31084, koefisien kerugian ( $K_{1-3}$ ) berkisar 0,30 dan 1,25 serta ( $K_{2-3}$ ) berkisar 0,46 dan 1,37 untuk ( $Q_2/Q_3$ ) bervariasi antara 0,20 dan 0,73 dengan ( $K_{tot}$ ) antara 0,76 sampai 2,63. Perubahan laju aliran mempengaruhi nilai koefisien kerugian untuk semua sudut pipa cabang.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Batasan Masalah .....	4
D. Tujuan Penelitian .....	5
E. Manfaat Penelitian .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
A. Teori Dasar Aliran Fluida .....	7
B. Rugi Gesek Aliran Pada Pipa Berpenampang Bulat .....	8
C. Rugi Tekanan Minor (Minor Head Loss) .....	11
D. Analisis Koefisien Kerugian Pada Penggabungan .....	12
<b>III. METODA PENELITIAN</b> .....	17
A. Tempat Penelitian .....	17
B. Bahan dan Peralatan .....	17
C. Instalasi Penelitian .....	19
D. Prosedur Penelitian .....	21
E. Data Variabel Penelitian .....	22
F. Cara Pengambilan Data .....	25
G. Pengolahan Data .....	26

H. Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	30
A. Hasil Penelitian .....	30
1. Variasi Laju Aliran Cabang 1 (Q1) .....	36
2. Variasi Laju Aliran Cabang 2 (Q2) .....	44
B. Analisis Perbandingan Hasil .....	50
C. Pembahasan .....	57
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	60
A. Kesimpulan .....	60
B. Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	64
<b>LAMPIRAN</b> .....	66
A. Data Pengukuran .....	66
B. Hasil Perhitungan .....	69
C. Diagram Moody dan Tabel Sifat-sifat Fisisair .....	86
D. Foto-foto Alat .....	88
E. Multiregresi .....	96

## DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Data Penelitian Penggabungan Pipa $90^0$	23
2. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re	37
3. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan Re	38
4. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{tot}$ dengan Re	40
5. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan $(Q_1/Q_3)$	42
6. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{tot}$ dengan ?	43
7. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re	44
8. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan Re	46
9. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{tot}$ dengan Re	48
10. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan $(Q_2/Q_3)$	49
11. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $90^0$	52
12. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan Re Sudut cabang $90^0$	52
13. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $75^0$	53
14. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $75^0$	54
15. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $60^0$	54
16. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan Re Sudut cabang $60^0$	55
17. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $45^0$ .	55

18. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{2-3}$ dengan Re Sudut cabang $45^0$	56
19. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $30^0$ .	56
20. Persamaan Regresi Hubungan Antara $K_{1-3}$ dengan Re Sudut cabang $30^0$	57

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
2.1. Volume Kendali untuk Aliran Berkembang P enuh dalam Sebatang Pipa Miring (White, 1994)	9
2.2. Kontrol Volume pada Percabangan Pipa	13
2.3. Aliran Melalui Penggabungan ? (Miller)	16
2.4. Aliran Melalui Penggabungan $90^0$ (Miller)	16
2.5. Grafik Koefisien Kerugian $K_{1-3}$ Terhadap Rasio Laju Aliran	17
3.1. Instalasi Penelitian	19
3.2. Posisi Peletakan Taping pada Pipa	21
3.3. Seksi Penelitian Penggabungan Pipa	23
3.4. Diagram Alir Penelitian	28
4.1. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re	36
4.2. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re	37
4.3. Grafik Koefisien Kerugian Total ( $K_{tot}$ ) terhadap Re	39
4.4. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Rasio Laju Aliran ( $Q_1/Q_3$ )	41
4.5. Grafik Koefisien Kerugian Total ( $K_{tot}$ ) terhadap Sudut Cabang	42
4.6. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Aliran cabang 2	44
4.7. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Aliran cabang 2	46
4.8. Grafik Koefisien Kerugian Total ( $K_{tot}$ ) terhadap Re Aliran cabang 2	47
4.9. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Rasio Laju Aliran ( $Q_1/Q_3$ ) Aliran cabang 2	49
4.10. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $90^0$	52



4.11. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $90^0$	52
4.12. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $75^0$	53
4.13. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $75^0$	53
4.14. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $60^0$	54
4.15. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $60^0$	54
4.16. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $45^0$	55
4.17. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $45^0$	55
4.18. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{1-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $30^0$	56
4.19. Grafik Koefisien Kerugian ( $K_{2-3}$ ) terhadap Re Sudut cabang $30^0$	56

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang	Arti dan Keterangan	Satuan
A	Luas Penampang	$m^2$
a	Faktor Koreksi Energi Kinetik	-
? E	Perubahan Energi	J
? Q	Perpindahan Energi	J
? w	Perpindahan Energi	J
g	Gaya grafitasi	$m/s^2$
$h_L$	Kerugian Head Total	m (H <sub>2</sub> O)
$h_f$	Kerugian mayor	m (H <sub>2</sub> O)
$h_m$	Kerugian minor	m (H <sub>2</sub> O)
$\mu$	Viskositas Dinamis	Kg/ms
P	Tekanan	$N/m^2$
q	Rasio Debit	-
Q	Debit	$m^3/s$
?	Massa Jenis	$kg/m^3$
?	Rasio Luas Penampang	-
?	Sudut penggabungan	derajat
U	Kecepatan	m/s
$W_{shaf}$	Gaya Poros	N
z	Head	m (H <sub>2</sub> O)
$d_{shear}$	Tegangan Geser	$N/m^2$

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Halaman
A1. Hasil Pengukuran Debit dan Head pada Sudut $90^0$	66
A2. Hasil Pengukuran Debit dan Head pada Sudut $75^0$	66
A3. Hasil Pengukuran Debit dan Head pada Sudut $60^0$	67
A4. Hasil Pengukuran Debit dan Head pada Sudut $45^0$	67
A5. Hasil Pengukuran Debit dan Head pada Sudut $30^0$	68
B1. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran, Re, K dan ? H Sudut $90^0$	69
B2. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran, Re, K dan ? H Sudut $75^0$	71
B3. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran, Re, K dan ? H Sudut $60^0$	73
B4. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran, Re, K dan ? H Sudut $45^0$	75
B5. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran, Re, K dan ? H Sudut $30^0$	77
B6. Hasil Penelitian Dengan Pembandingan	79
B7. Grafik Hubungan Antara K1-3 Terhadap Rasio Aliran	80
B8. Pengukuran Tinggi Statik	81
B9. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Penyimpangan rugi Tekanan	82
C1. Diagram Moody	86
C2. Sifat-sifat Fisis Air	87
D1. Gambar Isometri Instalasi Penelitian	88
D2. Gambar Pandangan Instalasi Penelitian	89
D3. Foto instalasi penelitian	90
E. Multiregresi	96

**BAB I**  
**PENDAHULUAN**  
**A. Latar Belakang**

Penelitian aliran dalam pipa (*internal flow*) dimulai oleh seorang maha guru dari Jerman th 1850, Julius Weisbach meneliti rugi pada hulu pipa, yang kemudian dilanjutkan oleh Insinyur Perancis, Henry Darcy pada tahun 1857 yang melakukan eksperimen aliran pipa dan pertama kalinya mengungkap efek kekasaran pada hambatan pipa yang dikenal dengan persamaan Darcy-Weisbach. Kemudian Osborne Reynold melakukan eksperimen melalui pipa klasiknya pada tahun 1883 yang memperlihatkan pentingnya bilangan reynolds dalam aliran fluida.

Pada saat ini teknologi semakin maju khususnya pada pengembangan bentuk bodi, para ahli dan ilmuwan selalu berusaha untuk mencari penemuan-penemuan baru pada bentuk bodi yang lebih aerodinamis untuk mengurangi separasi dan drag, misal pada industri-industri Otomotif, Aeroplane dan perkapalan. Demikian juga pada industri yang banyak menggunakan instalasi perpipaan yang berfungsi untuk mengalirkan fluida ke tempat tujuan. Pada instalasi ini, banyak dipakai sambungan yang berfungsi untuk membelokan, membagi aliran menjadi bercabang dan menggabungkan aliran. Penggabungan aliran fluida pada percabangan sendiri adalah suatu proses irreversibel dimana irreversibilitas ini di dalam aplikasi teknik akan menurunkan unjuk kerja dari sistem. Selama fluida mengalir melalui pipa banyak terjadi rugi

tekanan yang disebut rugi tekanan Major (*Major Head loss*) dan rugi tekanan Minor (*Minor Head loss*) (ME-105, 2003). Kerugian Major adalah rugi tekanan yang terjadi karena gesekan fluida dengan dinding sepanjang pipa dan kerugian Minor adalah kerugian akibat fluida melewati sambungan.

Dalam Basset, MD (2001) dengan judul "Calculation of steady flow pressure loss coefficients for pipe junctions" menunjukkan bahwa pada susut cabang ( ) menghitung koefisien kerugian (K), Penelitian ini dilakukan pada aliran turbulen dengan bilangan Reynolds 80.000 – 11.000 untuk aliran gabungan dengan pengukuran variasi laju aliran cabang ( $Q_1$ ) dan variasi laju aliran langsung ( $Q_2$ )

Aliran melalui penggabungan biasanya berfungsi untuk menggabungkan dari beberapa aliran fluida. Dalam instalasi perpipaan dan industri penggabungan pipa juga digunakan sebagai penyatuan aliran. Koefisien kerugian pada penggabungan pipa bergantung pada: perbandingan luas pada saluran (Leg), Sudut antara cabang dan Chamfer atau radius penggabungan (Miller 2007)

Aliran turbulen mempunyai koefisien gesek yang lebih tinggi dibandingkan dengan aliran laminar, tingginya koefisien gesek berpengaruh secara langsung pada besarnya penurunan tekanan dan besarnya energi yang diperlukan untuk mengalirkan fluida (Setyo, 2006).

Apabila fluida mengalir melalui suatu percabangan maka akan terjadi separasi yang mengakibatkan terjadinya kerugian tekanan. Menurut Arip

(2004), Adanya percabangan pada aliran fluida incompressible menyebabkan terganggunya aliran akibat separasi yang menyebabkan kerugian dari tekanan total.

Penelitian tentang efek sudut pada karakteristik aliran dalam sambungan Tee  $90^\circ$  pada dasarnya telah dilaksanakan. Dalam penelitiannya, Costa (2006), variasi tekanan, kecepatan rata-rata dan kecepatan turbulen yang terjadi pada aliran air di dalam bentuk sudut tajam dan sudut bundar pada sambungan Tee  $90^\circ$  yang diukur pada rasio aliran 50 % dengan bilangan Reynolds 32000 untuk sudut tajam dan 30000 untuk sudut melingkar, dari kedua bentuk geometri tersebut koefisien rugi-rugi cabang aliran lebih tinggi dari pada pipa utama karena penggabungan (*combining*) aliran terjadi dalam pipa cabang. Sambungan sudut bundar untuk ( $r/R = 0,1$ ) menyebabkan tingginya turbulensi dalam pipa cabang yang menghasilkan daerah gelembung sirkulasi balik lebih pendek, lebih tipis dan lebih lemah sehingga koefisien rugi-rugi berkurang pada aliran cabang, kenaikan disipasi koefisien aliran cabang dan rugi energi ( $K_D$ ) cukup beralasan bahwa sambungan Tee sudut bundar lebih efisien untuk semua bilangan Reynolds.

Untuk rugi tekanan (*Head loss*) pada pipa bengkok (*Study of the Separated and Total Losses in Bend*) telah diteliti oleh (Abubaker et-al, 2003): Bahwa kerugian gesek mayor mempunyai pengaruh signifikan pada kerugian gesekan total ketika perbandingan bend curvatur radius ( $r$ )

dan bend diameter (D) diatas 0,92, dan koefisien kerugian serta separasi paling besar jika arah aliran berubah secara tajam dan radius curvature sama dengan nol.

Tumbukan yang terjadi pada percabangan pipa mengakibatkan aliran menjadi turbulen, sehingga koefisien gesek menjadi tinggi dan menyebabkan penurunan tekanan yang akan berpengaruh pada energi yang dibutuhkan oleh Pompa. Didaerah mana terjadinya penurunan tekanan dan seberapa besar pengaruh variasi sudut cabang terhadap koefisien kerugian pada penggabungan pipa. Berdasarkan pemikiran dan uraian di atas maka untuk menjawab permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Variasi Sudut Cabang Terhadap Koefisien Kerugian Pada Penggabungan Aliran"

### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini dilakukan dalam bentuk eksperimental yang dititik beratkan pada :

1. Bagaimana pengaruh perubahan sudut cabang (?) terhadap koefisien kerugian (K) dengan K sebagai fungsi variasi sudut (?)  $30^0, 45^0, 60^0, 75^0, 90^0$
2. Bagaimana pengaruh bilangan Reynolds (Re) terhadap nilai koefisien kerugian (K) dengan K sebagai fungsi dari Re dan sudut cabang (?)  $30^0, 45^0, 60^0, 75^0, 90^0$

3. Bagaimana pengaruh perubahan bilangan Reynolds terhadap koefisien kerugian total ( $K_{tot}$ ) dengan  $K_{tot}$  sebagai fungsi dari Re dan sudut cabang (?)  $30^0$ ,  $45^0$ ,  $60^0$ ,  $75^0$ ,  $90^0$ .

### **C. Batasan Masalah**

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang berkualitas dan memudahkan dalam pengujian maka perlu dilakukan batasan masalah:

1. Analisis yang dilakukan adalah koefisien kerugian (K) pada penggabungan pipa.
2. Yang akan divariasikan adalah laju aliran volume dengan mengatur bukaan katup.
3. Pipa yang digunakan untuk penggabungan sudut (?)  $30^0$ ,  $45^0$ ,  $60^0$ ,  $75^0$ , dan  $90^0$  adalah dari pipa PVC dengan diameter pipa lurus 0,0245 m dan pipa cabang masing-masing 0.0245 m
4. Fluida kerja yang digunakan adalah air dengan aliran turbulen.
5. Pompa yang akan digunakan adalah AQUA 401 A dengan total head tekanan 3 m, kapasitas 340 liter/menit dan 2850 rpm.

### **D. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh perubahan sudut cabang terhadap koefisien kerugian (K) dengan variasi sudut masing-masing  $30^0$ ,  $45^0$ ,  $60^0$ ,  $75^0$ ,  $90^0$ .



2. Menentukan pengaruh bilangan Reynolds terhadap nilai koefisien kerugian setiap cabang pada variasi sudut masing-masing  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ .
3. Menentukan pengaruh perubahan bilangan Reynolds terhadap koefisien kerugian total ( $K_{tot}$ ) dengan variasi sudut masing-masing  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ .

### **E. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Memberikan gambaran mengenai terjadinya kerugian tekanan pada penggabungan aliran.
2. Memberikan pemahaman tentang dinamika fluida yang berkaitan dengan pola aliran yang melewati penggabungan aliran.
3. Diterapkan pada kalangan industri yang berhubungan dengan instalasi dan jaringan perpipaan (*pipe flow network*).
4. Digunakan untuk pencampuran (*mixing*) fluida.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Teori Dasar Aliran Fluida

Berdasarkan jenis aliran maka fluida dapat di klasifikasikan atas : fluida sempurna (ideal), fluida nyata (real), compressible dan incompressible. Suatu fluida sempurna tidak memiliki sifat kekentalan dan tidak dapat dimampatkan. Konsep fluida sempurna memungkinkan untuk memecahkan perumusan matematik yang lebih sederhana.

Pada analisis penggabungan (*combining*) aliran akan digunakan :

##### ? **Persamaan Kontinuitas:**

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \quad \dots\dots\dots 1)$$

Dimana : Q = Laju aliran Volumetrik (m<sup>3</sup>/s)

U = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

##### ? **Kekekalan Momentum:**

$$F = \frac{d}{dt}(m v). \quad \dots\dots\dots 2)$$

Dimana: F = Jumlah gaya luar yang bekerja (N)

m = Massa zat (kg)

##### ? **Hukum Kekekalan energi:**

$$Q = E - W \quad \dots\dots\dots 3)$$

Dimana :

E = perubahan energi dari sistem (Joule)

W = perpindahan energi dalam bentuk kerja (Joule)

$Q =$  perpindahan energi dalam bentuk panas (Joule)

**Persamaan Bernoulli:**

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} + z = \text{tetap} \quad \dots\dots\dots 4)$$

Dimana :

$P =$  tekanan ( $\text{N/m}^2$ )

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

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

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

$z =$  head (m)

**B. Rugi Gesek Aliran Dalam Pipa Berpenampang Bulat**

Pada gambar 2.1 memperlihatkan pipa bergaris tengah R, dengan sumbu  $x$  dipilih sebagai arah aliran dan dimiringkan pada sudut  $\theta$  terhadap garis mendatar. Selanjutnya kita analisis volume kendali antara penampang 1 dan 2. Disini berlaku persamaan kontinuitas :

$$Q_1 = Q_2 = \text{Tetap} \quad \dots\dots\dots 5)$$

$$U_1 \rho A_1 = U_2 \rho A_2$$

Karena pipa mempunyai penampang yang sama maka berlaku persamaan energi untuk aliran steady :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} U_1^2 + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} U_2^2 + gZ_2 + gh_f \quad \dots\dots\dots 6)$$

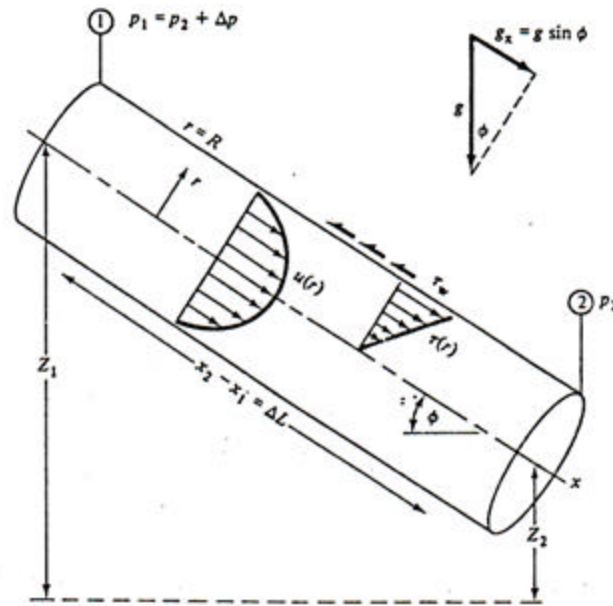
dimana :  $U =$  kecepatan ( $\text{m/sec}$ )

$P =$  tekanan (Pa)

Z = tinggi elevasi (m)

$\rho$  = density (kg/m<sup>3</sup>)

Q = laju aliran (m<sup>3</sup>/sec)



Gambar 2.1 Volume kendali untuk aliran berkembang penuh dalam sebatang pipa miring (White, 1994 : 305)

Jika usaha poros dan pemindahan kalor diabaikan dan aliran dianggap berkembang penuh, maka factor koreksi energi kinetic  $a_1 = a_2$  dan kecepatan  $U_1 = U_2$ , maka persamaan 6) menjadi :

$$h_f = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g}$$

$$Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g}$$

$$Z + \frac{P}{\rho g} \dots \dots \dots 7)$$

Dengan menggunakan persamaan momentum memperhitungkan gaya-gaya yang disebabkan oleh tekanan, medan gravitasi dan geseran maka :

$$\rho g R \sin \theta - \tau_w \frac{2R}{L} = m \frac{V_1 - V_2}{\Delta t} = 0$$

persamaan ini menghubungkan  $h_f$  dengan tegangan geser dinding;

$$\frac{\rho P}{\rho g} - Z - h_f = \frac{2\tau_w L}{\rho g R} \quad \dots\dots\dots 8)$$

Jika  $\tau_w$  diandaikan sebagai fungsi dari

$$\tau_w = F(\theta, u, \rho, R, \dots)$$

dengan  $\theta$  adalah tinggi kekasaran dinding, maka menurut analisis dimensional:

$$\frac{\tau_w}{\rho U^2} = f \left( \frac{R}{\theta}, \frac{\rho U \theta}{\mu} \right) \quad \dots\dots\dots 9)$$

Kombinasi persamaan 8) dan 9) menghasilkan persamaan untuk rugi tekanan dalam pipa :

$$h_f = f \frac{L U^2}{D 2g} \quad \dots\dots\dots 10)$$

- dimana :
- f = faktor gesek
  - L = panjang pipa (m)
  - D = diameter pipa (m)
  - U = kecepatan aliran fluida (m/s)
  - g = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Persamaan ini adalah persamaan Darcy-Weisbach berlaku untuk aliran dalam pipa untuk aliran laminar dan turbulen. Koefisien gesek (f)

untuk aliran turbulen ditentukan dengan menggunakan diagram Moody dan laminar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots\dots 11)$$

Kriteria untuk menjelaskan tipe aliran dalam pipa adalah kenaikan bilangan reynolds yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (White, 1994) :

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad \dots\dots\dots 12)$$

- Dimana :
- $\rho$  = masa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)
  - $\mu$  = fiskositas dinamis ( kg/ms)
  - U = kecepatan aliran (m/s)
  - D = diameter pipa (m)

Menurut (White 1994) batasan bilangan Reynolds adalah :

Untuk aliran laminar  $Re_d$  kurang dari 2100 pada  $U = 1,1$  ft/s, aliran turbulen pada  $Re_d = 4200$  pada  $U = 2,2$  ft/s, sedangkan untuk aliran transisi  $Re_{d,crit} \sim 2300$ .

**C. Rugi Tekanan Minor (Minor Head Loss)**

Untuk sebuah sistem perpipaan, disamping kerugian Major yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang disebut kerugian Minor yang disebabkan oleh (White, 1994) :

- ? Lubang masuk atau lubang keluar pipa.
- ? Pemuaian atau penyusutan tiba-tiba .

- ? Kelokan, siku, sambungan T dan suaian lain.
- ? Katup, yang terbuka atau sebagian tertutup.
- ? Pemuaian atau penyusutan berangsur.

Kerugian head total dalam pipa adalah penambahan antara kerugian mayor dan kerugian minor yang dirumuskan :

$$h_L = h_f + h_m \quad \dots\dots\dots 13)$$

Dari hasil eksperimen para ahli dengan fluida pada bilangan Reynolds yang tinggi memperlihatkan bahwa kerugian minor adalah sama dengan hasil kali energi kinetik persatuan berat dari fluida dengan koefisien kerugian :

$$h_m = K \frac{U^2}{2g} \quad \dots\dots\dots 14)$$

Dimana :

$h_m$  = Kerugian minor (m H<sub>2</sub>O)

K = koefisien kerugian

U = kecepatan aliran (m/s)

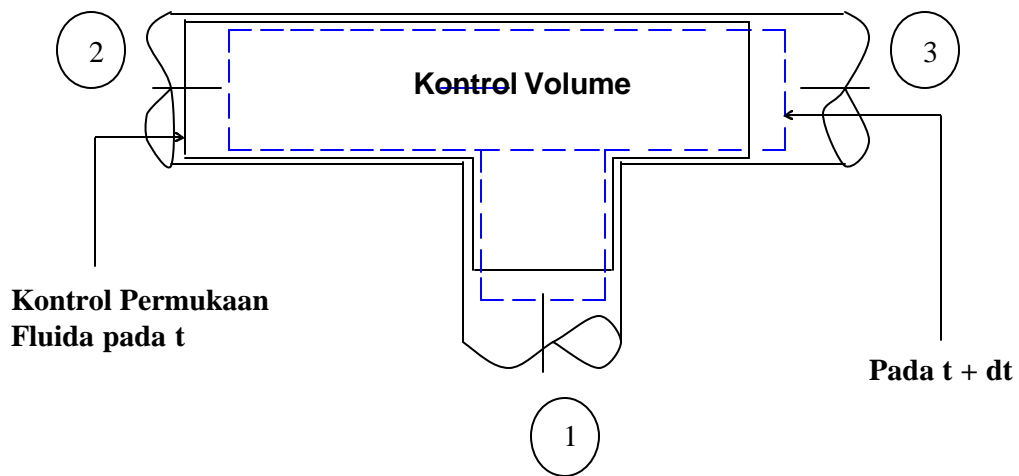
g = gaya gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

**D. Analisis Koefisien Kerugian Pada Penggabungan (*Combining*)**

Aliran melalui penggabungan biasanya berfungsi untuk menggabungkan dari beberapa aliran fluida. Dalam instalasi perpipaan dan industri penggabungan pipa juga digunakan sebagai penyatuan

aliran. Koefisien kerugian pada penggabungan pipa bergantung pada (sumber, Miller 1970) :

- ? Perbandingan luasan pada saluran (Leg)
- ? Sudut antar cabang
- ? Chamfer atau radius penggabungan



Gambar 2.2 Kontrol volume pada percabangan Pipa

Persamaan energi secara umum (Donald RF Harleman, 1966) adalah :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial W_{shaft}}{\partial t} + \frac{\partial W_{shear}}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial t} + e \frac{\partial U dA}{\partial t} + \frac{\partial e}{\partial t} dU \dots\dots 15)$$

Pada kondisi diatas diasumsikan bahwa :

- o  $W_{shaft} = 0$ , dan  $W_{shear} = 0$
- o Aliran steady ( $\partial Q / \partial t = 0$ ) dan incompressible ( $\partial / \partial t = 0$ )
- o Energi dalam (u) uniform pada setiap penampang
- o Koefisien energi kinetik  $a = 1$  dan percepatan gaya gravitasi uniform dan  $e =$  total energi per unit massa.

Dimana  $e = u + \frac{U^2}{2} + gh$



Dengan asumsi diatas maka persamaan energi menjadi :

$$\rho u \frac{P}{\rho} + gh + \frac{U^2}{2} - U dA = 0 \quad \dots\dots 16)$$

Aplikasi pada penggabungan aliran (*combining flow*)

$$m_1 \frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} + m_2 \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} + m_3 \frac{P_3}{\rho} + \frac{U_3^2}{2} + m_3 h_L$$

Persamaan rugi-rugi energi pada sambungan (Frank White, 1994)  $h_L =$

$K(\frac{1}{2} U^2)$  maka diperoleh koefisien kerugian adalah :

$$K = \frac{m_1 \frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} + m_2 \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} + m_3 \frac{P_3}{\rho} + \frac{U_3^2}{2} - m_3 K \frac{U_3^2}{2}}{m_3 \frac{1}{2} U_3^2} \quad \dots\dots 17)$$

Untuk mencari  $K_{2-3}$  di ambil nilai  $m_1 = 0$ , maka  $m_3 = m_2$

$$K_{2-3} = \frac{\frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} - \frac{P_3}{\rho} + \frac{U_3^2}{2}}{\frac{1}{2} U_3^2} \quad \dots\dots 18)$$

Karena  $P = \rho gh$  maka :

$$K_{2-3} = \frac{\frac{U_2^2}{2g} + h_2 - \frac{U_3^2}{2g} + h_3}{\frac{U_3^2}{2g}}$$

$$K_{2-3} = \frac{U_2^2 + U_3^2 + 2g h_2 + 2g h_3}{U_3^2} \quad \dots\dots 19)$$

Dengan cara sama dari persamaan 17) untuk mencari  $K_{2-3}$  di ambil nilai

$m_2 \neq 0$ , maka  $m_3 \neq m_1$

$$K_{1-3} = \frac{\frac{P_1}{2} U_1^2 - \frac{P_3}{2} U_3^2}{\frac{1}{2} U_3^2}$$

Karena  $P = \rho gh$  maka :

$$K_{1-3} = \frac{\frac{\rho U_1^2}{2g} h_1 - \frac{\rho U_3^2}{2g} h_3}{\frac{\rho U_3^2}{2g}}$$

$$K_{1-3} = \frac{U_1^2 h_1 - U_3^2 h_3}{U_3^2 h_3} \quad \dots\dots\dots 20)$$

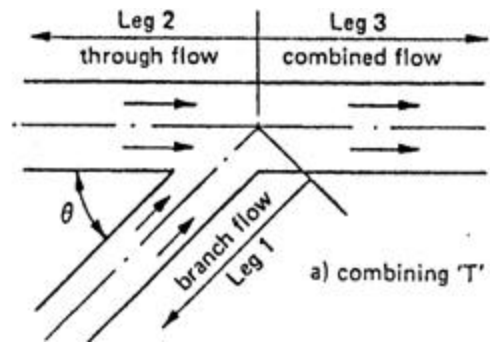
Total koefisien kerugian pada penggabungan pipa :

$$K_{tot} = K_{1-3} + K_{2-3} \quad \dots\dots\dots 21)$$

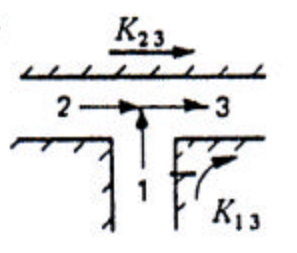
Notasi yang digunakan untuk penggabungan ditampilkan pada gambar 2.3 dan 2.4. Koefisien kerugian  $K_{ij}$  didefinisikan sebagai rasio dari total kerugian tekan antara cabang i dan j pada kecepatan rata-rata tekan dalam cabang yang membawa total aliran. Saluran (leg) pembawa total selalu pada Leg 3. Dalam kasus titik cabang T leg 1 dan Leg 2 adalah cabang. Konfigurasi Y simetrik hanya mempunyai satu koefisien Leg 3 sebagai gabungan dari leg 1 dan leg 2.

Koefisien kerugian (Loss Coefficients) untuk penggabungan (*combining*) dirumuskan secara umum sebagai berikut (Miller):

$$K_{ij} = \frac{\text{Total pressure in leg } i - \text{total pressure in leg } j}{\text{mean velocity pressure in leg } 3} \dots\dots\dots 22)$$

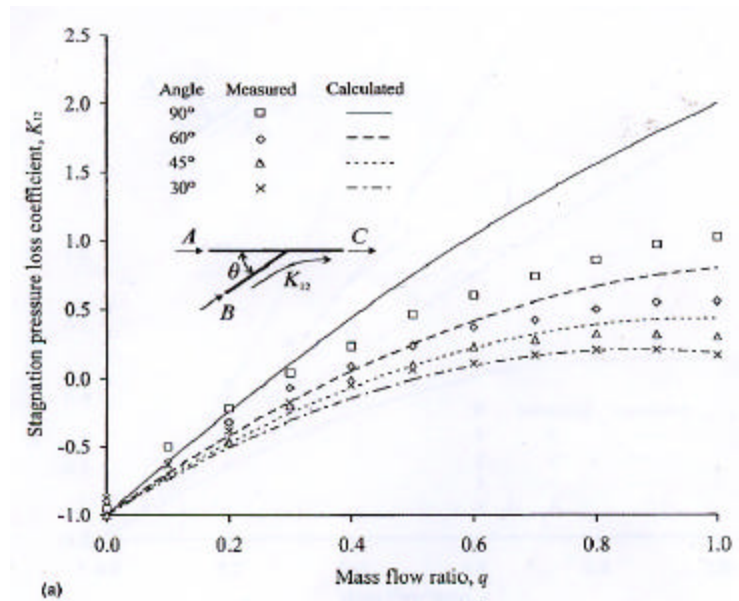


Gambar 2.3 Aliran melalui combining ? (Miller)



Gambar 2.4 Aliran melalui combining 90°

Menurut Bassett (2001) koefisien kerugian tekanan untuk penggabungan pipa kombinasi sudut tajam dari menggunakan pipa plastik menyatakan bahwa rasio penampang cabang dengan luas penampang pipa utama berkisar -1,0 – 2,5 dan rasio antara laju aliran cabang dengan aliran utama ( $Q_1/Q_2$ ) berkisar 0 - 1 diperoleh nilai koefisien kekasaran seperti pada gambar 2.5..



Sumber: Bassett, 2001

Gambar 2.5 Grafik koefisien kerugian  $K_{1-3}$  terhadap rasio aliran

Adapun kerugian tekanan yang terjadi untuk penggabungan pipa adalah :

$$H_{123} = K_{123} \frac{U_3^2}{2g} \dots\dots\dots 23)$$

dan  $H_{223} = K_{223} \frac{U_3^2}{2g}$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, dengan terlebih dahulu, mempersiapkan alat penelitian berikut bahan yang akan digunakan.

#### **B. Bahan dan Peralatan**

Bahan dan peralatan yang akan digunakan adalah :

? Bahan penelitian

Fluida yang akan digunakan adalah air .

? Alat instalasi penelitian

1. Tangki air

Tangki air berfungsi untuk tempat penampungan fluida yang digunakan untuk penelitian.

2. Pipa uji

Pipa yang digunakan dalam penelitian adalah penggabungan pipa dengan sudut  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  terbuat dari bahan pipa paralon dengan instalasi lain menggunakan pipa paralon.

3. Pompa

Pompa yang berfungsi untuk mensirkulasikan fluida adalah model AQUA 401 A dengan total head 20,5 meter. Kapasitas 340 liter/menit dengan putaran 2850 rpm.