

**PENGARUH PERUBAHAN KECEPATAN TERHADAP
KOEFSIEN KERUGIAN PADA PENGABUNGAN PIPA
SUDUT 120^o**

***THE EFFECT OF THE SPEED CHANGES ON THE
LOSS COEFFICIENT OF THE PIPE CONNECTION AT
THE ANGLE OF 120***

SUKUR



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR
TAHUN 2013**

**PENGARUH PERUBAHAN KECEPATAN TERHADAP
KOEFSIEN KERUGIAN PADA PENGABUNGAN PIPA
SUDUT 120^o**

**Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi
Teknik Mesin**

**Disusun dan diajukan oleh:
SUKUR**

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR
TAHUN 2013**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tanga dibawah ini :

Nama : Sukur

Nomor Mahasiswa : P2201211504

Program Studi : Teknik Mesin / Konversi Energi

Menyatakan dengan ini sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis hasil karya orang lain saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2013

Yang Menyatakan

Sukur

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PERUBAHAN KECEPATAN TERHADAP
KOEFSIEN KERUGIAN PADA PENGABUNGAN PIPA
SUDUT 120⁰**

Disusun dan diajukan oleh

SUKUR
Nomor Pokok P2201211504

PROGRAM STUDI TEKNIK / KONVERSI ENERGI

MENYETUJUI :
KOMISI PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. DUMA HASAN, DEA
KETUA

Prof. Dr. Ir. H. A. SYAMSUL A.P.,M. Eng.
ANGGOTA

MENGETAHUI
KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

RAFIUDDIN SYAM ST, M.Eng. Ph.D
NIP. 19720330 199512 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran 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 Pascasarjana 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 eksperimental dengan judul “ Pengaruh Perubahan Kecepatan Terhadap Koefisien Kerugian Pada Pengabungan Pipa Sudut 120° “.

Kami mengucapkan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada bapak-bapak Komisi Penasehat : (Ketua : Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA. dan Anggota : Prof. Dr. Ir. H. A. Syamsul A. P, M. Eng) atas arahan-arahan yang telah diberikan selama penyelesaian penelitian ini, begitu pupa kepada Tim penguji atas kesediaanya untuk hadir serta memberikan masukan-masukan ilmiah dalam pelaksanaan seminar hasil penetian . 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 penelitian ini.

Makassar, 16 Agustus 2013

Penulis

ABSTRAK

SUKUR, *Pengaruh Perubahan Kecepatan terhadap koefisien Kerugian pada pengabungan pipa sudut 120°* (dibimbing oleh Duma Hasan dan A. Syamsul Arifin. P).

Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar kerugian akibat melewati suatu pengabungan aliran.

Selama fluida mengalir melalui pipa banyak terjadi rugi tekanan yang disebut rugi tekanan Major (*Major Head loss*) dan rugi tekanan Minor (*Minor Head loss*). Kerugian Major adalah rugi tekanan yang terjadi karena gesekan fluida dengan dinding sepanjang pipa dan kerugian Minor adalah kerugian akibat fluida melewati sambungan. Penelitian ini dilakukan pada pengabungan aliran sudut 120° dengan variasi diameter pipa cabang 12,7 mm, 19,1 mm, 25,4 mm, 31,8 mm dan 38,1 mm, menggunakan pipa PVC. Variasi laju aliran untuk setiap pipa cabang bilangan Reynolds (Re) bervariasi antara 38127 dan 62698 pada Re ini menghasilkan nilai koefisien kerugian (K_{1-3}) antara 2,52 dan 4,87, demikian pula nilai koefisien kerugian (K_{2-3}) antara 0,31 dan 2,20, perbandingan laju aliran (Q_1/Q_3) bervariasi antara 0,32 dan 0,59 dan (Q_2/Q_3) bervariasi antara 0,41 dan 0,68, nilai koefisien total (K_{tot}) berkisar antara 1,96 dan 5,95 dengan total losses ΔH_{tot} berkisar 0,11 dan 0,65, variasi laju aliran cabang 2-3 dengan variasi laju aliran peningkatnya bilangan Reynolds (Re) dari 27683 sampai 159084 mengakibatkan nilai koefisien kerugian (K_{1-3}) berkisar 1,22 dan 2,13 demikian pula nilai Koefisien kerugian (K_{2-3}) berkisar 0,85 dan 2,58 perbandingan laju aliran (Q_1/Q_3) bervariasi antara 0,183 dan 0,78 dan (Q_2/Q_3) bervariasi antara 0,22 dan 0,81, koefisien total antara 1,90 sampai 5,41. Adapun total losses ΔH_{tot} yang terjadi berkisar 0,052 dan 2,81. perubahan nilai Reynold akan mempengaruhi nilai koefisien kerugian untuk setiap pipa cabang.

Kata Kunci : Reynolds, koefisien kerugian, laju aliran, variasi diameter pipa cabang

ABSTRAC

SUKUR. the effect of the speed changes on the loss coefficient of the pipe connection at the angle of 120 (supervised by Duma Hasan and Syamsul Arifin A. P.)

This research aims to investigate the extent of the losses as a result of the flow having to pass through a peering.in many cases of the piping insatalation using a connection in order to deflect or divide the flow into either branching or merging piping flow system, particularly on a vessel , is very complex system that it has to be designed as effectively and efficiently as possible.

While the fluida is flowing through the pipe, pressure losses-the major head loss and minr head loss-occur. The Major Head losses are due to the fluida friction along the pipe walls, while the Minor Head losses occur when the fluid passes through the pipe connection. The research the combined flow connection of 120° angle with the PVC of the diameterof 12.7 mm , 19.1 mm, 25.4 mm, 31.8 mm, 38.1 mm.

The research result indicated that at1-3 branch pipes with the flow speed variation of each pipe Reynolds (Re) number varied between 38127 and 62698 on the Re Yields loss coefficient (K_{1-3}) between 2.52 and 4.87 Meanwhile, the value of the loss coefficient (K_{2-3}) varied between 0.31and 2.20, the ratio of the flow rate (Q_1/Q_3) varied between 0.32 and 0.59 and (Q_2/Q_3) varied between 0.41 and 0.68. The total value of the coefficient (K_{tot}) ranged from 1.96 to 5.95 with the total lossed ranging from ΔH_{tot} 0.11 to 0.65. the flow rate of branches 2-3 with the increasing variation of Reynolds (Re) number varied between 27683 and 159084 resulted in the loss coefficient (K_{1-3}) between 1.22 to 2.13 and the value of the loss coefficient (K_{2-3}) was between 0.85 and 2.58. meanwhile the comparation of the flow rate (Q_1/Q_3) varied between 0.183 and 0.78 and (Q_2/Q_3) varied between 0.22 and 0.81and The total coefficient coefficient ranged from 1.90 to 5.41. the total ΔH_{tot} losses was around 0.052 to 2.81, and the changed of Reynolds value would effect the value of the loss coefficient of each branch pipe.

Keywords : Reynolds, loss coefficient, liran rate, variations of the branch pipe diameter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PEGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABLE	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR ARTI DAN LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan masalah	4
D. Tujuan penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Teori dasar aliran fluida	6
B. Rugi gesek aliran pada pipa perpenampang bulat	7
C. Rugi tekanan minor	10

D. Analisis koefisien kerugian pada penggabungan	11
III. METODE PENELITIAN	17
A. Tempat penelitian	17
B. Bahan dan peralatan	17
C. Instalasi penelitian	19
D. Prosedure penelitian	24
E. Data variable penelitian	25
F. Cara pengambila data	27
G. Pengolahan data	28
H. Diagram alir penelitian	30
IV. HASIL DA PEMBAHASAN	31
A. Hasil penelitian	31
B. Pembahasan	59
V. KESIMPULAN DAN SARAN	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	72
A. Data pengukuran	72
B. Hasil perhitungan	77
C. Diagram Moody	93
D. Sifat-sifat fisis air	94
E. Foto-foto alat	95

DAFTAR TABLE

Nomor	Halaman
1. Persamaan Regresi hubungan antara K_{1-3} dengan Re cabang 12.7 mm	54
2. Persamaan Regresi hubungan antara K_{2-3} dengan Re cabang 12.7 mm	54
3. Persamaan Regresi hubungan antara K_{1-3} dengan Re pipa cabang 19.1 mm	55
4. Persamaan Regresi hubungan antara K_{2-3} dengan Re pipa cabang 19.1 mm	55
5. Persamaan Regresi hubungan antara K_{1-3} dengan Re pipa cabang 25.4 mm	56
6. Persamaan Regresi hubungan antara K_{2-3} dengan Re pipa cabang 25.4 mm	56
7. Persamaan Regresi hubungan antara K_{1-3} dengan Re pipa cabang 31.8 mm	57
8. Persamaan Regresi hubungan antara K_{2-3} dengan Re pipa cabang 31.8 mm	57
9. Persamaan Regresi hubungan antara K_{1-3} dengan Re pipa cabang 38.1 mm	58
10. Persamaan Regresi hubungan antara K_{2-3} dengan Re pipa cabang 38.1 mm	58

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
2.1 Volume Kendali untuk Aliran Berkembang Penuh dalam Sebatang Pipa Miring (White, 1994)	8
2.2 Kontrol volume pada percabangan	12
2.3 aliran melalui pengabungan (miller)	15
2.4 koefisien kerugian K	16
3.1 instalasi penelitian	19
3.2 Proses peletakan taping pada pipa	21
3.3 Sesi uji	22
3.4 sesi penelitian pengabungan pipa	26
3.5 Diagram alir penelitian	30
4.1 Grafik koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re	38
4.2 Grafik koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re	39
4.3 Grafik koefisien kerugian Total (K_{Tot}) terhadap Re	40
4.4. Grafik rasio laju aliran (Q_1/Q_3) terhadap koefisien kerugian (K_{1-3})	41
4.5. Grafik rasio laju aliran (Q_1/Q_3) terhadap koefisien kerugian (K_{2-3})	43
4.6. Grafik rasio laju aliran (Q_1/Q_3) terhadap koefisien	44

kerugian (K_{tot})	
4.7. grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re aliran cabang 2	45
4.8. Grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re aliran cabang 2	46
4.9. Grafik Koefisien kerugian (K_{tot}) terhadap Re aliran cabang 2	47
4.10. Grafik rasio laju aliran (Q_1/Q_3) terhadap koefisien kerugian (K_{1-3})	49
4.11. Grafik rasio laju aliran (Q_2/Q_3) terhadap koefisien kerugian (K_{2-3})	50
4.12. Grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re pipa cabang 12.7 mm	54
4.13. Grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re pipa cabang 12.7 mm	54
4.14. Grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re pipa cabang 19.1 mm	55
4.15. Grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re pipa cabang 19.1 mm	55
4.16 Grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re pipa cabang 25.4 mm	56
4.17 grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re pipa	56

cabang 25.4 mm	
4.18 Grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re pipa cabang 31.8 mm	57
4.19 Grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re pipa cabang 31.8 mm	57
4.20 Grafik Koefisien kerugian (K_{1-3}) terhadap Re pipa cabang 38.1 mm	58
4.21 Grafik Koefisien kerugian (K_{2-3}) terhadap Re pipa cabang 38.1 mm	58

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang	Keterangan	Satuan
A	Luas Penampang	m^2
A	Faktor Koreksi Energi Kinetik	-
D	Diameter Pipa	m
ΔE	Perubahan Energy	Joule
F	Faktor Gesek	-
ΔQ	Perubahan Energi	Joule
ΔW	Kerugian Head	mH_2O
G	Percepatan Gravitasi	m/dtk^2
h_f	Kerugian mayor	mH_2O
k_b	Koefisien kerugian elbow	-
$K_{b,b}$	Koefisien Kerugian Head sambungan elbow	-
k_{bt}	Koefisien Kerugian Head Total	-
k_f	Koefisien Kerugian Head pipa	-
Ls	Jarak sambungan	m
M	Viskositas Dinamis	$Kg/m \cdot dtk$
Q	Debit	m^3/dtk
P	Density fluida	-
Re	Bilangan Reynolds	-
t	waktu	detik
v	Kecepatan Fluida	m/dtk

DAFTAR LAMPIRAN

NO	HALAMAN
1. Hasil Pengukuran Debit Pipa 38,1 x 12,7 mm	69
2. Hasil Pengukuran Debit Pipa 38,1 x 19,1 mm	70
3. Hasil Pengukuran Debit Pipa 38,1 x 25,4 mm	71
4. Hasil Pengukuran Debit Pipa 38,1 x 31,8 mm	72
5. Hasil Pengukuran Debit Pipa 38,1 x 38,1 mm	73
6. Hasil Pengukuran Tekanan Statik Pipa 38,1 x 12,7 mm	75
7. Hasil Pengukuran Tekanan Statik Pipa 38,1 x 19,1 mm	76
8. Hasil Pengukuran Tekanan Statik Pipa 38,1 x 25,4 mm	77
9. Hasil Pengukuran Tekanan Statik Pipa 38,1 x 31,8 mm	78
10. Hasil Pengukuran Tekanan Statik Pipa 38,1 x 38,1 mm	79
11. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Re Aliran pada pipa 38,1 x 12,7 mm	80
12. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Re Aliran pada pipa 38,1 x 19,1 mm	81
13. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Re Aliran pada pipa 38,1 x 25,4 mm	82
14. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Re Aliran pada pipa 38,1 x 31,8 mm	83
15. Hasil Perhitungan Kecepatan dan Re Aliran pada pipa 38,1 x 38,1 mm	84
16. Perhitungan Koefisien Kerugian Pada Pipa 38,1 x 12,7 mm	85
17. Perhitungan Koefisien Kerugian Pada Pipa 38,1 x 19,1 mm	86
18. Perhitungan Koefisien Kerugian Pada Pipa 38,1 x 25,4 mm	87
19. Perhitungan Koefisien Kerugian Pada Pipa 38,1 x 31,8 mm	88
20. Perhitungan Koefisien Kerugian Pada Pipa 38,1 x 38,1 mm	89

21. Hasil Penelitian dengan Perbandingan	90
22. Diagram Moody	91
23. Sifat-sifat Fisik Air	92

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. (Frank M. White , 2009), Diatas kapal Sistem permesinan kapal banyak menggunakan instalasi pemipaan yang berfungsi untuk mengantarkan atau mengalirkan suatu fluida dari tempat yang lebih rendah ke tujuan yang diinginkan dengan bantuan mesin atau pompa.pada insalasi ini banyak menggunakan sambungan yang berfungsi untuk membelokkan , membagi aliran mejadi percabangan dan pengabungan aliran

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. 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).

Koefisien kerugian pada penggabungan pipa bergantung pada perbandingan luas pada saluran (Leg), Sudut antara cabang dan Chamfer atau radius penggabungan (Miller 2007) , Apabila fluida mengalir melalui suatu percabangan maka akan terjadi separasi yang mengakibatkan terjadinya kerugian tekanan. Adanya percabangan pada aliran fluida incompressible menyebabkan terganggunya aliran akibat separasi yang menyebabkan kerugian dari tekanan total. Penggabungan pipa kombinasi sudut tajam dari menggunakan pipa plastik diameter 444 mm menyatakan bahwa rasio rasio penampang cabang dengan luas penampang pipa utama berkisar 0,02 – 0,21 dan rasio antara laju aliran cabang dengan aliran utama (Q_1/Q_2) berkisar 0-1 diperoleh nilai koefisien kekasaran berkisar pada -0,7 sampai 100. (Serre, 2007)

Penelitian tentang efek sudut pada karakteristik aliran dalam sambungan pada dasarnya telah dilaksanakan dalam penelitiannya ,(Costa 2006) , variasi tekanan, kecepatan rata-rata dan kecepatan turbulen yang terjadi pada aliran air didalam bentuk sudut tajam dan sudut bundar sambungan Tee 90^o yang diukur pada rasio aliran 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 utama karena pemisahan aliran terjadi dalam pipa cabang . Peningkatan laju aliran (Q) dan semakin besar ukuran diameter pipa untuk seksi uji pada aliran pertemuan dan aliran percabangan mengakibatkan turunnya nilai koefisien kerugian (K) (Salimin, 2009). Kaji eksperimental pada penggabungan pipa T sudut 90 dalam bentuk eksperimen dengan 5 variasi diameter pipa cabang dengan

bahan galvanis hasinya bahwa perubahan laju aliran mempengaruhi nilai koefisien kerugian untuk semua diameter pipa cabang (La ode Musa, 2009).

Untuk rugi tekanan (Head Loss) pada pipa bengkok (study of The Seperated and Total Losses in bend) telah diteliti oleh (Abubaker et-all, 2003) bahwa 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 curveture 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 diameter pipa cabang terhadap koefisien kerugian pada penggabungan pipa. Berdasarkan pemikiran dan uraian di atas maka untuk menjawab permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian dengan judul ” ***pengaruh perubahan kecepatan terhadap koefisien kerugian pada penggabungan pipa sudut 120°***”

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan pengaruh perubahan laju aliran terhadap koefisien kerugian (K) pada penggabungan pipa 120°
2. Bagaimana efek perubahan laju aliran Q1/ Q2 terhadap koefisien kerugian (k) pada penggabungan pipa dengan sudut 120°

3. Berapa besar nilai koefisien kerugian (k) yang terjadi ada variasi diameter pipa cabang (branch) masing masing 12.7mm, 19.1 mm, 25.4mm, 31.8mm, 38.1 mm

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 (θ) 120^0 adalah dari pipa PVC dengan diameter pipa lurus 38.1 mm dan diameter pipa cabang masing-masing 127mm, 19.1mm, 25.4mm, 31.8mm, 38.1 mm
4. Fluida kerja yang digunakan adalah air
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. Untuk menentukan pengaruh perubahan laju aliran terhadap koefisien kerugian (K) pada penggabungan pipa 120^0

2. Untuk bagaimana efek perubahan laju aliran Q_1/ Q_2 terhadap koefisien kerugian (k) pada penggabungan pipa dengan sudut 120°
3. Untuk mengetahui besar nilai koefisien (K) yang terjadi pada variasi diameter cabang (branch) masing-masing 12.7mm, 19.1 mm,25.4mm, 31.8mm, 38.1 mm.

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:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \dots\dots\dots 1)$$

Dimana : Q = Laju aliran Volumetrik (m^3/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m^2)

❖ Kekekalan Momentum:

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

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

m = Massa zat (kg)

❖ Hukum Kekekalan energi:

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

Dimana :

ΔE = perubahan energi dari sistem (Joule)

ΔW = perpindahan energi dalam bentuk kerja (Joule)

ΔQ = perpindahan energi dalam bentuk panas (Joule)

❖ **Persamaan Bernoulli:**

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

Dimana :

P = tekanan (N/m²)

ρ = massa jenis (kg/m³)

V = kecepatan (m/s)

g = gaya grafitasi (m/s²)

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 Φ terhadap garis mendatar.

Selanjutnya kita analisis volume kendali antara penampang 1 dan 2. Disini berlaku persamaan kontinuitas :

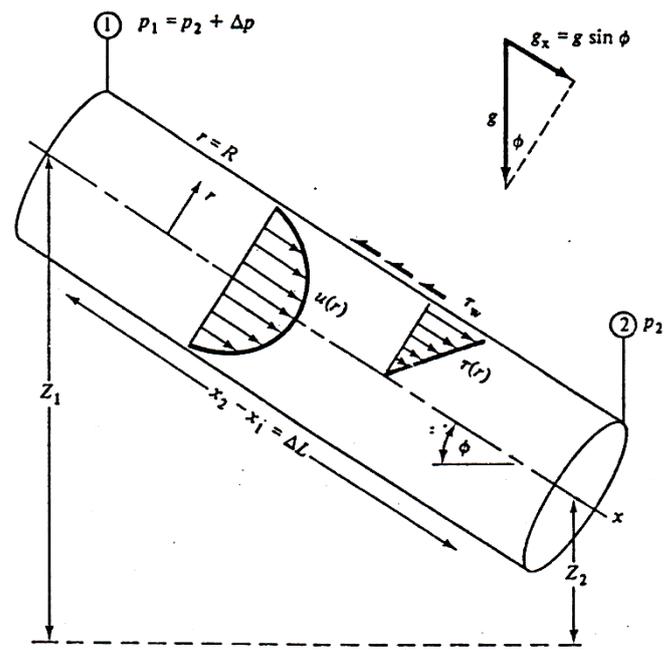
$$Q_1 = Q_2 = \text{Tetap} \quad \dots\dots\dots 5)$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = V_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

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

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_1 U_1^2 + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_2 U_2^2 + gZ_2 + gh_f \quad \dots\dots\dots 6)$$

- dimana :
- V = kecepatan (m/sec)
 - P = tekanan (Pa)
 - Z = tinggi elevasi (m)
 - ρ = density (kg/m³)
 - Q = laju aliran (m³/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 $\alpha_1 = \alpha_2$ dan kecepatan $U_1 = U_2$, maka persamaan 6) menjadi :

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right) \\
 &= (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho g} \right) \\
 &= \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} \quad \dots\dots\dots 7)
 \end{aligned}$$

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

$$\Delta P R + \rho g (R) \Delta L \sin \phi - \tau_w (2R) \Delta L = m(V_1 - V_2) = 0$$

persamaan ini menghubungkan h_f dengan tegangan geser dinding;

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

Jika τ_w diandaikan sebagai fungsi dari

$$\tau_w = F(\rho, u, \mu, R, \epsilon)$$

dengan ϵ adalah tinggi kekasaran dinding, maka menurut analisis dimensional:

$$\frac{8\tau_w}{\rho V^2} = f = F\left(Re_d, \frac{\epsilon}{R}\right) \quad \dots\dots\dots 9)$$

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

$$h_f = f \frac{LV^2}{D^2} \quad \dots\dots\dots 10)$$

dimana : f = faktor gesek

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

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) :

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

Dimana : ρ = masa jenis fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamis (kg/ms)

V = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

Menurut (White 1994) batasan bilangan Reynolds adalah :

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

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 :

$$h_m = K \frac{V^1}{2g} \quad \dots\dots\dots 14)$$

Dimana :

h_m = Kerugian minor (m H₂O)

K = koefisien kerugian

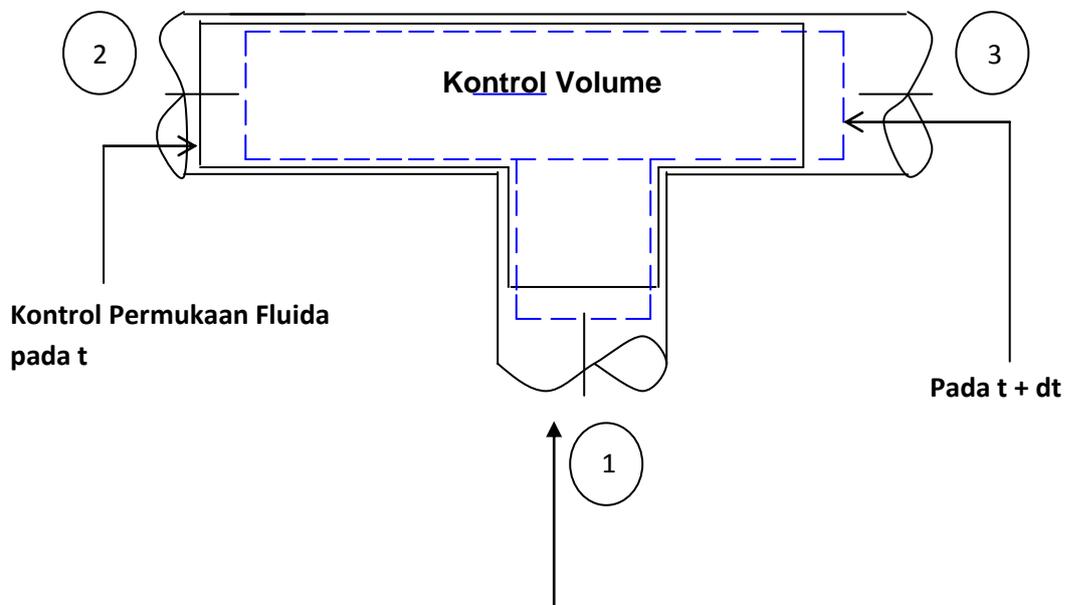
V = kecepatan aliran (m/s)

g = gaya gravitasi (9,81 m/s²)

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 (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 :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\partial W_{shaft}}{\partial t} - \frac{\partial W_{shear}}{\partial t} = - \int_{cs} \left(\frac{p}{\rho} + e \right) \rho V dA + \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} e \rho dV \quad \dots\dots 15)$$

Pada kondisi diatas diasumsikan bahwa :

- $\partial W_{shaft} = 0$, dan $\partial W_{shear} = 0$
- Aliran steady ($\partial Q / \partial t = 0$) dan incompressible ($\partial / \partial t = 0$)
- Energi dalam (u) uniform pada setiap penampang
- Koefisien energi kinetik $\alpha = 1$ 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 :

$$\int_{cs} \left(u + \frac{p}{\rho} + gh + \frac{U^2}{2} \right) \rho U dA = 0 \quad \dots\dots 16)$$

Aplikasi pada penggabungan aliran (*combining flow*)

$$m_1 \left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} \right) + m_2 \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} \right) = m_3 \left(\frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} \right) + m_3 \Delta h_l$$

Persamaan rugi-rugi energi pada sambungan (*Frank White, 1994*) $\Delta h_L = K(1/2 \rho U^2)$

maka diperoleh koefisien kerugian adalah :

$$K = \frac{m_1 \left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} \right) + m_2 \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} \right) - m_3 \left(\frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} \right)}{m_3 \left(\frac{1}{2} \rho V_3^2 \right)} \quad \dots\dots 17)$$

Untuk mencari K_{2-3} di ambil nilai $\dot{m}_1 = 0$, maka $\dot{m}_3 = \dot{m}_2$

$$K_{2-3} = \frac{\left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2}\right) - \left(\frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\rho V_3^2\right)} \dots\dots\dots 18)$$

Karena $P = \rho gh$ maka :

$$K_{2-3} = \frac{\left(\frac{V_2^2}{2g} + h_2\right) - \left(\frac{V_3^2}{2g} + h_3\right)}{\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)}$$

$$K_{2-3} = \frac{(V_2^2 - V_3^2) + (h_2 - h_3)2g}{(V_3^2)} \dots\dots\dots 19)$$

Dengan cara sama dari persamaan 17) untuk mencari K_{2-3} di ambil nilai $\dot{m}_2 = 0$, maka $\dot{m}_3 = \dot{m}_1$

$$K_{1-3} = \frac{\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}\right) - \left(\frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\rho V_3^2\right)}$$

Karena $P = \rho gh$ maka :

$$K_{1-3} = \frac{\left(\frac{V_1^2}{2g} + h_1\right) - \left(\frac{V_3^2}{2g} + h_3\right)}{\left(\frac{V_3^2}{2g}\right)}$$

$$K_{1-3} = \frac{(V_1^2 - V_3^2) + (h_1 - h_3)2g}{(V_3^2)} \dots\dots\dots 20)$$

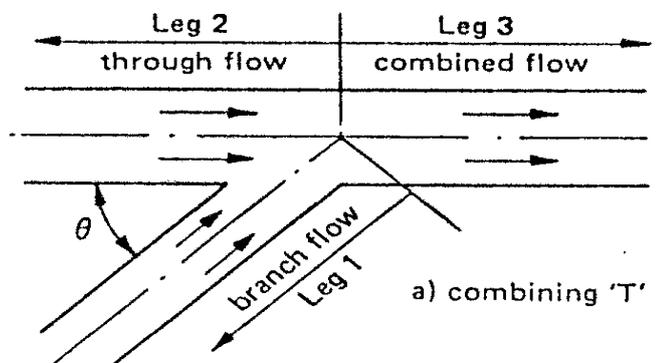
Total koefisien kerugian pada pengabungan pipa :

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

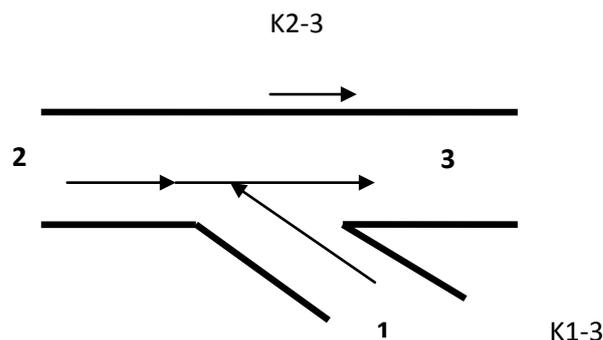
Notasi yang digunakan untuk penggabungan ditampilkan pada gambar 2.3 dan 2.4. Koefisien kerugian K_{ij} didefinisikan sebagai rasio dari total kerugian tekan antara cabang i dan j pada kecepatan rata-rata tekan dalam cabang yang membawa total aliran. Saluran (leg) pembawa total selalu pada Leg 3. Dalam 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, 2007):

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



Gambar 2.3 Aliran melalui combining θ (Miller, 2007)



Gambar 2.4 Aliran melalui combining 120° (Miller, 2007)

Menurut Bassett (2001) koefisien kerugian tekanan untuk penggabungan pipa kombinasi sudut tajam dengan 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 berkisar pada -0,7 sampai 10,0

Adapun kerugian tekanan yang terjadi untuk penggabungan pipa (Miller, 2007) adalah :

$$\Delta H_{1-3} = K_{1-3} \frac{V_3^2}{2g} \dots\dots\dots 23)$$

dan $\Delta H_{2-3} = K_{2-3} \frac{V_3^2}{2g}$