

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE
(CAIR-GAS) PADA BELOKAN PIPA 90°**

Disusun dan diajukan oleh

**FEBRY VALENTINO
D021 19 1038**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE (CAIR-GAS) PADA BELOKAN PIPA 90°

Disusun dan diajukan oleh

Febry Valentino


D021 19 1038

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana program studi teknik mesin fakultas teknik universitas hasanuddin pada tanggal 9 Januari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT
NIP 19591220198601 1 001


Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si
NIP 19611017198503 1 004

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT
NIP.19720825200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Febry Valentino
NIM : D021 19 1038
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Karakteristik Aliran Dua Fase (Cair-Gas) Pada Belokan
Pipa 90°

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Januari 2024

Yang menyatakan



Febry Valentino

ABSTRAK

Febry Valentino. *Analisis Karakteristik Aliran Dua Fase (Cair-Gas) Pada Belokan Pipa 90°.* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT. dan Dr. Ir. Nasruddin Aziz, M.Si).

Aliran dua fase mempunyai fenomena yang sangat kompleks, hal ini dikarenakan adanya interaksi antar fase, geometri dan orientasinya (vertikal maupun horizontal), *flow direction* (ke atas atau ke bawah) yang dapat mempengaruhi *flow pattern*. Elbow sangat luas penggunaannya sehingga menjadi media sistem transportasi perpipaan dengan fleksibilitas besar yang memungkinkan dilakukannya pengarahan (*routing*) dan pendistribusian, sehingga merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi struktur pola aliran pada aliran multi fase. Dalam penelitian ini dilakukan pada instalasi perpipaan seksi uji belokan pipa 90°. Proses pengambilan data menggunakan *pressure gauge* pada sisi vertikal (sebelum seksi uji) dan horizontal (setelah seksi uji). Pada pengambilan data dilakukan dengan menginjeksikan udara dan air dengan masing-masing 7 variasi untuk udara dan 5 variasi untuk air. Hasil penelitian diperoleh hasil sebagai berikut, *pressure drop* terendah terdapat pada variasi debit air 0,001 m³ /s dan debit udara 0,00083 m³ /s dengan nilai sebesar 4000 Paskal. Nilai *pressure drop* terbesar terdapat pada variasi debit air 0,002 m³ /s dan debit udara 0,00417 m² /s dengan nilai sebesar 15000 Paskal. Nilai kerugian belokan pipa terendah terdapat pada variasi debit air 0,002 m³ /s dan debit udara 0,000083 m³ /s dengan nilai sebesar 1,235. Nilai kerugian belokan pipa terbesar terdapat pada variasi debit air 0,001 m³ /s dan debit udara 0,000417 m³ /s dengan nilai sebesar 2,900. Dari nilai yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai *pressure drop* berbanding terbalik dengan nilai kerugian belokan pipa.

Kata Kunci : aliran dua fase, cair-gas, belokan pipa.

ABSTRACT

FEBRY VALENTINO Analysis of Two-Phase Flow Characteristics (Liquid-Gas) at 90° Pipe Bends. (supervised by Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT. and Dr. Ir. Nasruddin Aziz, M.Si)

Two-phase flow has a very complex phenomena, this is due to the interaction between phases, geometry and orientation (vertical or horizontal), flow direction (up or down) which can affect the flow pattern. Elbow is so widely used that it becomes a medium of piping transportation system with great flexibility that allows routing and distribution, so it is one of the important parameters that affect the structure of flow patterns in multi-phase flow. In this study, a 90° pipe bend test section was conducted in a piping installation. The data collection process uses a pressure gauge on the vertical side (before the test section) and horizontal (after the test section). Data was collected by injecting air and water with 7 variations each for air and 5 variations for water. The research results obtained the following results, the lowest pressure drop is found in the variation of water discharge 0.001 m³ /s and air discharge 0.00083 m³ /s with a value of 4000 Paskal. The largest pressure drop value is found in the variation of water discharge 0.002 m³ /s and air discharge 0.00417 m² /s with a value of 15000 Paskal. The lowest pipe bending loss value is found in the variation of water discharge 0.002 m³ /s and air discharge 0.000083 m³ /s with a value of 1.235. The largest pipe turning loss value is found in the variation of water discharge 0.001 m³ /s and air discharge 0.000417 m³ /s with a value of 2.900. From the values that have been obtained, it can be concluded that the pressure drop value is inversely proportional to the value of pipe turning losses.

Keywords: two-phase flow, liquid-gas, pipe bends.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Definisi Fluida	6
2.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida.....	7
2.2.1 Aliran fluida berdasarkan sifat pergerakannya	7
2.2.2 Aliran fluida berdasarkan gaya yang terjadi	7
2.2.3 Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume.....	8
2.3 Bilangan Reynolds	8
2.4 Persamaan Bernoulli	9
2.5 Persamaan Kontinuitas.....	9
2.6 Debit Aliran	10
2.7 Rapat Jenis (Densitas).....	10
2.8 Viskositas	11
2.9 <i>Head Losses</i>	12
2.9.1 <i>Mayor Losses</i>	12
2.9.2 <i>Minor Losses</i>	13
2.9.3 Koefisien Kerugian Belokan Pipa.....	13
2.10 Kehilangan Energi Akibat Belokan Pada Pipa	14
2.11 Aliran Dua Fase	15
2.11.1 Pola Aliran Dua Fase (<i>flow patern</i>).....	16
2.11.2 Pengaruh Elbow terhadap Aliran	16
2.12 Aliran Dua Fase (Cair- Gas) Pada Belokan Pipa	17
2.13 <i>Pressure Drop</i>	18
2.14 <i>Pressure Drop</i> Aliran Dua Fase Pada Belokan Pipa.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2 Langkah-Langkah Penelitian	20
3.3 Alat dan Bahan.....	21
3.3.1 Alat	21
3.3.2 Bahan	23

3.4	Metode Pengambilan Data	26
3.5	Skema Penelitian.....	27
3.6	Flow Chart Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Hasil	29
4.1.1	Analisa Perhitungan	29
4.1.2	<i>Pressure Drop</i> Pada Q_{mix}	32
4.1.3	<i>Pressure Drop</i> Pada Bilangan Reynolds.....	33
4.1.4	<i>Pressure Drop</i> Pada Presentase Debit Fluida Dua Fase	34
4.1.5	Kerugian Belokan Pipa Pada Q_{mix}	36
4.1.6	Kerugian Belokan Pipa Pada Bilangan Reynolds	37
4.1.7	Kerugian Belokan Pipa Pada Presentase Debit Fluida Dua Fase.....	38
4.1.8	<i>Head Losses</i> Eksperimen Pada <i>Head Losses</i> Teori	40
4.1.9	Visualisasi Pola Aliran Dua Fase Pada Belokan Pipa 90°	41
4.2	Pembahasan.....	46
4.2.1	<i>Pressure Drop</i> Pada Q_{mix}	46
4.2.2	<i>Pressure Drop</i> Pada Bilangan Reynolds.....	46
4.2.3	<i>Pressure Drop</i> Pada Presentase Debit Fluida	47
4.2.4	Kerugian Belokan Pipa Pada Q_{mix}	48
4.2.5	Kerugian Belokan Pipa Pada Bilangan Reynolds	48
4.2.6	Kerugian Belokan Pipa Pada Presentase Debit Fluida.....	49
4.2.7	<i>Head Losses</i> Teori Pada <i>Head losses</i> eksperimen	49
4.2.8	Visualisasi Pola Aliran Dua Fase (Cair-Gas) Pada Belokan Pipa 90°	50
BAB V PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN		55

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada variasi debit fluida (cair-gas).....	32
Tabel 2 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada bilangan Reynolds	33
Tabel 3 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada presentase debit fluida dua fase ...	35
Tabel 4 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada variasi debit fluida dua fase	36
Tabel 5 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada bilangan Reynolds	37
Tabel 6 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada presentase debit fluida dua fase.....	39
Tabel 7 Hubungan antara <i>head losses</i> eksperimen dengan <i>head losses</i> teori	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema aliran dalam pipa	8
Gambar 2 koefisien kerugian pada belokan	14
Gambar 3 Pemetaan dan pola aliran untuk aliran posisi vertikal.....	16
Gambar 4 Jenis-jenis elbow (a.) Elbow jari-jari (b.) Elbow <i>miter</i>	17
Gambar 5 <i>Schematic diagram of the test section and elbow bend</i>	18
Gambar 6 <i>Schematic diagram of the two phase pressure loss in a horizontal</i>	19
Gambar 7 Pompa.....	21
Gambar 8 Kompresor	21
Gambar 9 <i>Reservoir</i> ukuran 50 Liter	21
Gambar 10 <i>Pressure Gauge</i>	22
Gambar 11 <i>Flowmeter</i>	22
Gambar 12 Besi Siku	22
Gambar 13 Gergaji Besi.....	23
Gambar 14 <i>Handphone</i>	23
Gambar 15 Pipa PVC diameter 1 inci	23
Gambar 16 Elbow Akrilik Transparan diameter 1 inci	24
Gambar 17 <i>Valve</i>	24
Gambar 18 <i>Mixer</i>	24
Gambar 19 Sambungan Pipa.....	25
Gambar 20 Lem Pipa	25
Gambar 21 Air Bersih	25
Gambar 22 Skema Penelitian	27
Gambar 23 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada variasi debit aliran fluida dua fase	32
Gambar 24 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada bilangan Reynolds dengan variasi debit fluida dua fase.....	34
Gambar 25 Hubungan antara <i>pressure drop</i> pada presentase debit aliran fluida dua fase.....	35
Gambar 26 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada variasi debit aliran.....	36
Gambar 27 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada bilangan Reynolds dengan variasi debit fluida dua fase	38
Gambar 28 Hubungan antara kerugian belokan pipa pada presentase debit aliran fluida dua fase	39
Gambar 29 Hubungan antara <i>head losses</i> teori pada <i>head losses</i> eksperimen dengan	40
Gambar 30 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000083 m ³ /s	41
Gambar 31 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000417 m ³ /s	42
Gambar 32 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000083 m ³ /s	42
Gambar 33 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000417 m ³ /s	42
Gambar 34 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000083 m ³ /s	43
Gambar 35 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} 0,000417 m ³ /s	43

Gambar 36 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000083 \text{ m}^3/\text{s}$	43
Gambar 37 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000417 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Gambar 38 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000083 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Gambar 39 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000417 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Gambar 40 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000083 \text{ m}^3/\text{s}$	45
Gambar 41 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000417 \text{ m}^3/\text{s}$	45
Gambar 42 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000083 \text{ m}^3/\text{s}$	45
Gambar 43 Visualisasi aliran dua fase pada variasi Q_{udara} $0,000417 \text{ m}^3/\text{s}$	46

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas Penampang (m^2)
d	Diameter (m)
k	Kerugian Belokan Pipa
g	Gravitasi (m/s^2)
G	Fluks Massa ($kg/m^2/s$)
L	Panjang (m)
m	Massa (kg/m^3)
\dot{m}	Laju Aliran Massa (kg/s)
ΔP	<i>Pressure Drop</i> (Paskal)
ΔH	<i>Head Losses</i> (Paskal)
Re	Bilangan Reynolds (W)
Q	Debit (m^3/s)
V	Kecepatan (m/s)
x	Kualitas Massa Udara
α	Fraksi Hampa
μ	Viskositas Dinamik ($N.s/m^2$)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian	55
Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan	56
Lampiran 3 Nilai koefisien berdasarkan jenis belokan	58
Lampiran 4 Dokumentasi	59

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE (CAIR-GAS) PADA BELOKAN PIPA 90°”. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan baik itu berupa doa, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini tidaklah mudah bagi penulis untuk menyelesaikannya, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai pada titik ini. Oleh karena itu, izinkan penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberkati penulis senantiasa dan yang menjadi pengharapan penulis.
2. Orang Tua Saya, Alm. Drs. Benyamin Matius, M.Pd dan Ibu Darnita Tira yang selalu mendukung dan memberikan bantuan baik itu berupa materil dan moral dalam penulis didalam menjalani perkuliahan dan penyusunan skripsi, serta dukungan harapan dalam doa yang tiada hentinya bagi penulis. Serta menjadi salah satu alasan terbesar penulis untuk pulang dan selalu semangat dalam meraih gelar dan menjadi kebanggaan bagi kedua orang tua saya. Terkhusus untuk Ayah saya Alm. Drs. Benyamin Matius, M.Pd yang sempat mendampingi penulis selama 2 semester awal perkuliahan, namun tak sempat mendampingi dan melihat penulis dalam proses perkuliahan serta penyusunan skripsi hingga saat ini. Terima kasih tak terhingga atas doa yang selalu engkau panjatkan dari atas sana. Semoga engkau diatas sana tersenyum bangga melihat pencapaian penulis hingga sejauh ini.
3. Kedua adik terkasih saya, Agung dan Ray yang selalu menjadi alasan penulis untuk semangat dalam menjalani baik itu perkuliahan ataupun dalam penyusunan skripsi ini serta selalu menjadi alasan penulis agar bisa menjadi teladan serta contoh yang baik bagi kedua adik penulis.

4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
5. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Aziz, M. Si selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin. ST., MT selaku dosen penguji satu pada penelitian ini yang senantiasa memberikan saran, masukan dan koreksi yang bersifat membangun guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
7. Bapak Ir. Baharuddin Mire, MT selaku dosen penguji dua pada penelitian ini yang senantiasa memberikan saran, masukan dan koreksi yang bersifat membangun guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
8. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin. ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Seluruh staf dan dosen pengajar di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu sabar dan penuh perhatian dalam mendidik dan memberikan ilmu serta pengetahuan yang membuat penulis semakin mengerti materi-materi mengenai teknik mesin terutama dalam bidang konversi energi.
10. Thitania Elsa Dian Massa, yang selalu menemani dan mendukung penulis dalam proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi, teman berdiskusi dalam segala hal, selalu memberikan semangat kepada penulis, selalu membantu penulis dalam segala hal, menghibur penulis ketika stress ataupun putus asa, dan selalu mendukung serta mendoakan penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik lagi dalam segala hal untuk kedepannya.
11. Teman-teman yang setia menemani penulis dalam meneliti dan penyusunan skripsi, terkhusus untuk Bill dan Kak Sandra dalam meneliti topik Aliran Dua Fase, teman-teman Laboratorium Mekanika Fluida yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.
12. Saudara-Saudara seperjuangan saya BRUZHLEZZ 2019 yang telah memberi bantuan, dukungan, kerjasama yang sudah dijalani bersama-sama selama

berproses baik secara akademik maupun non akademik dan kiranya kesuksesan selalu menyertai saudara-saudara sekalian.

13. Keluarga besar B42 dan kost haram09 bersama orang-orang didalamnya yang menjadi tempat penulis berkumpul bersama selama menjadi mahasiswa dan menjadi tempat berbagi cerita, tawa dan canda selama penulis menjalani perkuliahan hingga penyusunan skripsi hingga saat ini. Kurre Sumangga lako kamu sola nasang!!!
14. Segenap keluarga besar KMKO Mesin dan KMKO Teknik, Terkhusus untuk Go Deeper dan Cynosure yang menjadi tempat belajar pengalaman selama menjadi panitia kegiatan, serta menjadi tempat memperluas relasi dan menjadi rumah atau tempat untuk kembali bagi penulis.
15. Terakhir, Penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis sebut dan cantumkan satu per satu. Terimakasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terimakasih sebanyak-banyaknya kepada setiap orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Sebagai manusia biasa tentunya penulis menyadari masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam skripsi ini, begitu pula dalam hal penulisannya yang masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan dari para pembaca baik berupa kritik maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan-penulisan skripsi di masa yang akan datang.

Akhir kata penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Kiranya skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu dan bagi siapa saja yang membacanya.

Gowa, 27 Desember 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aliran dua fase mempunyai fenomena yang sangat kompleks dibandingkan pada aliran satu fase diantaranya adalah interaksi antar fase, pengaruh deformasi permukaan, pergerakan antar fluida, pengaruh kesetimbangan fase, perubahan pola aliran dan perubahan *pressure drop* sehingga menjadi ketertarikan dalam penelitian (Widayana, 2010)

Aliran dua fase merupakan salah satu bagian dari aliran multi fase, dimana fenomena aliran dua fase ini banyak dijumpai pada dunia-dunia industri, seperti pada reaktor nuklir, dan juga sistem perpipaan dari industri pertambangan migas, geotermal, dan lain sebagainya. Pada sistem perpipaan penggunaan elbow tidak dapat dihindari dikarenakan faktor geografis di lapangan. Meskipun penggunaan elbow tersebut akan menyebabkan terjadinya separasi, *centrifugal acceleration*, *secondary flow* dan kavitasi.

Pada aliran dua fase, karakteristik alirannya jauh lebih kompleks dibandingkan pada aliran mono fase, dimana selain dipengaruhi oleh Reynolds numbers, pada aliran dua fase *pressure drop* juga dipengaruhi oleh interaksi dari fase-fase yang mengalir di dalamnya. Dimana akibat dari interaksi antar fase tersebut akan menyebabkan terjadinya pola aliran yang bermacam-macam. Pola aliran yang berubah-ubah ini akan menyebabkan perubahan pada *pressure drop*. (Wiryanta,2010).

Sifat-sifat aliran fluida merupakan suatu hal yang sangat menarik untuk diteliti, baik fluida statik maupun fluida dinamik. Fluida zat cair yang mengalir melalui sebuah pipa dengan panjang tertentu menyebabkan terjadinya kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) disebabkan oleh *major losses* akibat gesekan sepanjang dinding pipa maupun *minor losses* akibat perubahan bentuk lokal saluran berupa belokan, katup, maupun sambungan pipa dan juga tergantung besar koefisien gesek pipa tersebut.

Aliran dua fase mempunyai fenomena yang sangat kompleks, hal ini

dikarenakan adanya interaksi antar fase, geometri dan orientasinya (vertikal maupun horizontal), *flow direction* (ke atas atau ke bawah) yang dapat mempengaruhi *flow pattern*. Berbeda dengan aliran *single phase* yang hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang merupakan formula dari massa jenis, viskositas dan diameter pipa. Perubahan aliran tersebut dapat menyebabkan nilai *pressure drop* berubah-ubah yang merugikan pada sistem transportasi fluida. Selain itu komponen dalam sistem perpipaan seperti elbow juga sering digunakan untuk kebutuhan desain perpipaan. Elbow sendiri memiliki 2 jenis belokan, yaitu elbow patah (*mitter*) dan elbow jari-jari.

Elbow sangat luas penggunaannya sehingga menjadi media sistem transportasi perpipaan dengan fleksibilitas besar yang memungkinkan dilakukannya pengarahannya (*routing*) dan pendistribusian, sehingga merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi struktur pola aliran pada aliran multi fase. Untuk merancang dan aplikasi di lapangan, penggunaan belokan sangat diperlukan. Belokan pipa memiliki nilai *pressure drop* yang besar dibandingkan pipa lurus hal ini dikarenakan perubahan geometri dan lintasan mengakibatkan perubahan pola aliran sehingga terbentuk aliran terpisah dari sisi bagian dalam belokan pipa tersebut. Besar kecilnya nilai *pressure drop* ditentukan oleh pemilihan sudut belokan. (Awaluddin dkk, 2014).

Menurut (Lukman 2011), tentang eksperimental karakteristik *pressure drop* pada pipa dan variasi elbow 90° untuk sistem perpipaan menyimpulkan peningkatan bilangan Reynolds pada pipa vertikal menyebabkan karakteristik *pressure drop* juga mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan elevasi yang dominan dibandingkan dengan faktor gesekan. Karakteristik *pressure drop* pada elbow 90° yang mempengaruhi peningkatan secara signifikan, akibat bentuk dimensi dari elbow yang menyebabkan adanya perbedaan ketinggian (elevasi), dimana elevasi lebih tinggi menghasilkan *pressure drop* lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi yang rendah. Karakteristik *pressure drop* pada pipa horizontal sampai jarak 10D pada pipa horizontal yang menggunakan elbow *short* yang mendominasi adalah pada elbow, dibandingkan faktor gesekan. Sedangkan karakteristik *pressure drop* pada pipa horizontal sesudah jarak 10D pada pipa horizontal dengan penggunaan elbow *short*. maupun elbow *long* faktor

gesekan yang lebih dominan. Penelitian tersebut menginformasikan tentang *pressure drop* pada pipa dan variasi elbow 90°.

(Spedding dan Benard, 2006), melakukan penelitian tentang penurunan tekanan untuk aliran udara-air dua fase melalui tikungan 90° siku vertikal ke horizontal yang diatur dalam pipa id 0,026 m. Penurunan tekanan pada garis singgung *inlet* vertikal menunjukkan beberapa perbedaan yang signifikan dengan yang ditemukan untuk pipa vertikal lurus. Hal ini disebabkan oleh tikungan siku yang mencekik sebagian aliran masuk yang mengakibatkan penumpukan tekanan dan cairan di penaik saluran masuk vertikal dan perbedaan struktur rezim aliran jika dibandingkan dengan pipa vertikal lurus. Garis singgung outlet horizontal sebaliknya memberikan data yang sesuai dengan literatur bahkan untuk menunjukkan daerah pengurangan hambatan pada laju cairan rendah dan kecepatan gas antara 1 dan 2 ms⁻¹.

(Saidj, 2014) mengenai perilaku campuran udara-air dua fase yang mengalir dari horizontal ke vertikal melalui tikungan 90° telah diselidiki secara eksperimental. Fraksi rongga penampang pada sembilan posisi, tiga hulu dan enam hilir tikungan telah diukur menggunakan teknik probe konduktansi. Tekukan, dibuat dari resin akrilik transparan memiliki diameter 34 mm dan kelengkungan (R/D) sama dengan 5. Kecepatan superfisial udara bervariasi antara 0,3 dan 4 m/s dan untuk air antara 0,21 dan 0,91 MS. Tanda tangan karakteristik *Probability Density Function (PDF)*, *Power Spectral Density (PSD)* dari deret waktu fraksi kosong rata-rata *cross sectional* dan pengamatan visual telah digunakan untuk mengkarakterisasi perilaku aliran. Untuk kondisi percobaan, pasang, pola aliran *slug* dan *stratified wavy* terjadi pada pipa horizontal sedangkan pola aliran *slug* dan *churn* terdapat pada pipa vertikal. Fraksi hampa meningkat dengan kecepatan superfisial gas. Korelasi Nicklin et al, memprediksi kecepatan struktur untuk aliran *slug* pada pipa horizontal dan vertikal secara cukup akurat.

Seperti yang telah dibahas di atas bahwa telah banyak penelitian yang telah dilakukan yang berhubungan dengan *pressure drop* pada aliran dua fase pada beberapa sudut elbow. Secara umum parameter--parameter yang diperhatikan diantaranya debit fluida cair dan gas, viskositas fluida, densitas fluida, pola

aliran, sistem dan instalasi pipa, *pressure drop* dan belokan pipa. Maka pada penelitian ini akan membahas tentang aliran dua fase (cair-gas), dengan judul penelitian “**ANALISIS KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASE (CAIR-GAS) PADA BELOKAN PIPA 90°**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain :

1. Bagaimana pengaruh karakteristik aliran dua fase (cair-gas) terhadap aliran pada belokan pipa 90°?
2. Bagaimana pengaruh *head losses* terhadap karakteristik aliran fluida dua fase (cair-gas) pada belokan pipa 90°?
3. Bagaimana pengaruh *pressure drop* terhadap karakteristik aliran fluida dua fase (cair-gas) pada belokan pipa 90°?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui:

1. Menganalisis pengaruh karakteristik dari aliran dua fase (cair-gas) terhadap aliran yang terjadi pada belokan pipa 90°.
2. Menganalisis pengaruh *head losses* terhadap karakteristik aliran dua fase (cair-gas) pada belokan pipa 90°.
3. Menganalisis pengaruh *pressure drop* terhadap karakteristik aliran dua fase (cair-gas) pada belokan pipa 90°.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian, antara lain :

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fluida campuran udara (gas) dan air (cair) dengan perbandingan yang telah ditentukan untuk menghasilkan 7 variasi data.
2. Karakteristik yang dimaksud yaitu Perubahan Tekanan, Bilangan Reynolds, Koefisien Kerugian Belokan Pipa, pola aliran, dan rasio persentase Cair-Gas.

3. Seksi uji dilakukan pada instalasi pipa pvc akrilik pada sudut belokan 90°.
4. Pompa yang digunakan adalah Pompa Sentrifugal.
5. Pipa yang akan digunakan memiliki variasi diameter sebesar 1 inci.
6. *Mixer* atau tabung pencampur air-udara menggunakan pipa dengan diameter 3 inci.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Bagi Penulis

1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh semasa kuliah.

b. Bagi Universitas:

1. Dapat dijadikan referensi bagi generasi – generasi Teknik Mesin yang akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Fluida

Fluida adalah suatu yang tidak bisa lepas dari kehidupan sehari-hari kita, dimanapun dan kapanpun kita berada, fluida selalu mempengaruhi berbagai kegiatan kita dalam kehidupan sehari-hari kita baik itu dalam bentuk liquid ataupun gas. Berbagai fenomena dalam fluida dapat kita pelajari sebagai bagian dari ilmu fisika, atau secara khusus kita dapat mendalaminya dalam ilmu mekanika fluida.

Fluida secara khusus didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser. Sebuah tegangan geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada sebuah permukaan. Apabila benda-benda padat biasanya seperti baja atau logam-logam lainnya dikenai oleh suatu tegangan geser, mula-mula benda itu akan berdeformasi (biasanya sangat kecil), tetapi tidak akan terus menerus berdeformasi (mengalir). Namun, cairan seperti air, minyak, dan udara memenuhi definisi dari sebuah fluida. Secara umum fluida dibagi menjadi dua, yaitu statika fluida dan dinamika fluida. Statika fluida adalah fluida yang tidak bergerak (diam), dinamika fluida adalah fluida yang bergerak. Dalam penerapannya, fluida tidak terlepas dari viskositas. Viskositas secara umum dapat didefinisikan sebagai ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi / perubahan bentuk.

Fluida mempunyai dua sifat fisik yaitu viskositas dan densitas. Dimana viskositas adalah sifat fluida yang diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Besar kecilnya viskositas fluida tergantung pada suhu fluida tersebut. Untuk fluida cair, makin tinggi suhunya, maka viskositasnya makin kecil, sedang untuk fluida gas, makin tinggi suhunya, maka viskositasnya makin besar. (Indra dkk, 2014)

2.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

2.2.1 Aliran fluida berdasarkan sifat pergerakannya

1. *Steady Flow*, Merupakan aliran yang terjadi apabila kecepatannya tidak dipengaruhi oleh waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik pada aliran tersebut.
2. *Non Steady Flow*, Merupakan aliran yang terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan aliran tersebut terhadap perubahan waktu.
3. *Uniform Flow*, Merupakan aliran fluida yang terjadi dimana besar dan arah dari vektor-vektor kecepatan konstan dari suatu titik ke titik selanjutnya pada aliran fluida tersebut.
4. *Non Uniform Flow*, Merupakan Aliran yang terjadi dimana besar dan arah vektor-vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap lintasan aliran fluida tersebut, hal ini terjadi apabila luas penampang fluida juga berubah.

2.2.2 Aliran fluida berdasarkan gaya yang terjadi

1. Aliran Laminar, Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau laminalamina dengan satu lapisan meluncur secara merata. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan-kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi pasti hukum viskositas Newton, yaitu:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

Dimana :

τ = tegangan geser pada fluida (N/m²)

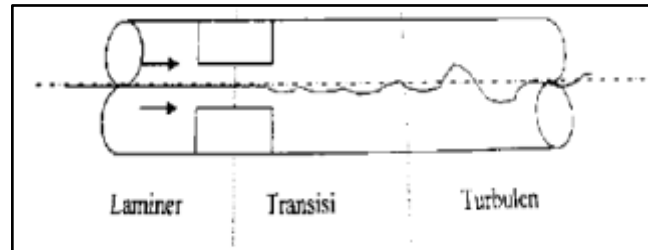
μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.det)

du/dy = gradien kecepatan (m/det/m)

2. Aliran Turbulen, didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.

Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

3. Aliran Transisi, merupakan aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen.



Gambar 1 Skema aliran dalam pipa
Sumber : Zainudin, 2012

2.2.3 Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume

1. Fluida tak Termampatkan, Pada kondisi ini fluida tidak mengalami perubahan dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida tak termampatkan.
2. Fluida Termampatkan, Pada keadaan ini, fluida mengalami perubahan volume dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida ini secara umum disebut fluida termampatkan.

2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds aliran digunakan untuk menunjukkan sifat utama aliran, yaitu apakah aliran adalah laminar, turbulen, atau transisi serta letaknya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen berbanding dengan laminar.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (2)$$

Dimana :

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Pada fluida air, suatu aliran diklasifikasikan laminar apabila aliran tersebut mempunyai bilangan Reynolds (Re) kurang dari 2300. Untuk aliran transisi berada pada bilangan $2300 < Re < 4000$, disebut juga sebagai bilangan Reynolds kritis. Sedangkan untuk aliran turbulen mempunyai bilangan Reynolds lebih dari 4000 (Negara, 2014).

2.4 Persamaan Bernoulli

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran zat cair atau gas, akan mengakibatkan penurunan tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut. Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*), juga pada fluida dengan aliran tak-termampatkan (*incompressible-flow*). Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Secara matematis persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{Y_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{Y_2} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H \quad (3)$$

Dimana :

$P_{1,2}$ = tekanan di penampang 1 dan 2 (N/m^2)

$V_{1,2}$ = kecepatan di penampang 1 dan 2 (m/s^2)

$Z_{1,2}$ = tinggi pada permukaan 1 dan 2 (m)

$Y_{1,2}$ = berat jenis 1 dan 2 (N/m^3)

g = gravitasi bumi ($9,82 m/s^2$)

2.5 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan hubungan antara kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar. Hubungan tersebut dinyatakan dengan:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4)$$

Dimana :

A_1 = Luas penampang pipa 1 (m^2)

A_2 = Luas penampang pipa 2 (m^2)

V_1 = Kecepatan fluida pada pipa 1 (m/s)

V_2 = Kecepatan fluida pada pipa 2 (m/s)

2.6 Debit Aliran

Debit aliran dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada masing-masing pipa dimana rumus debit aliran :

$$Q = \frac{v}{t} \quad (5)$$

Kemudian dari persamaan kontinuitas akan didapat :

$$Q = AV, \text{ dimana } A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (6)$$

Maka kecepatan aliran dalam suatu penampang adalah :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} \quad (8)$$

Dimana :

Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

2.7 Rapat Jenis (Densitas)

Densitas atau rapat jenis (ρ) suatu zat adalah ukuran bentuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume, sifat ini ditentukan dengan cara menghitung rasio massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{dm}{dv} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (9)$$

Dimana:

m = massa fluida (kg)

v = volume fluida (m³)

Nilai densitas dapat dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan suatu fluida semakin berkurang karena disebabkan gaya kohesi dari molekul-molekul semakin berkurang.

2.8 Viskositas

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekulernya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur hal ini disebabkan gaya-gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan turunnya viskositas dari zat cair tersebut. Viskositas dibagi menjadi dua macam yaitu :

1. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak (*absolute viscosity*) mempunyai nilai sama dengan hukum viskositas Newton.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ (m}^2\text{/s)} \quad (10)$$

Dimana :

μ = nilai dari viskositas mutlak atau viskositas dinamik (kg./m.s).

ρ = nilai kerapatan massa fluida (kg/m³).

2. Viskositas kinematik merupakan perbandingan antara viskositas mutlak terhadap kerapatan massa.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (11)$$

Dimana :

τ = tegangan geser pada fluida (N/m^2)

du/dy = gradien kecepatan ($(\text{m/s})/\text{m}$)

2.9 Head Losses

Head losses adalah *head* atau kerugian-kerugian dalam aliran pipa yang terdiri atas *major losses* dan *minor losses*.

$$H = H_f + H_m \quad (12)$$

Dimana:

H = *head losses* (m)

H_f = *major losses* (m)

H_m = *minor losses* (m)

2.9.1 Mayor Losses

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran dengan luas penampang tetap atau konstan. Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh fluida. Kerugian *head* akibat dari gesekan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan Darcy – Weisbach yaitu:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Dimana:

H_f = *head mayor* (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan (m/s)

g = gravitasi bumi (m/s^2)

f = faktor gesek (didapat dari diagram moody)

Diagram moody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy – Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$), faktor gesekan pada persamaan 2.13 dihubungkan dengan rumus bilangan Reynolds, dengan rumus

$$f = \frac{64}{Re} \quad (14)$$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$), maka fungsional dari factor gesekan (f) pada persamaan 2.13 tergantung pada bilangan Reynold dan kekasaran relatif, $f = \phi (Re, \varepsilon/D)$. nilai ε untuk pipa PVC adalah 0.0015-0.007 mm.

2.9.2 Minor Losses

Kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, sambungan Tee, sambungan belokan, dan pada luas penampang yang tidak konstan. Pada aliran yang melewati belokan dan katup *head loss minor* yang terjadi dapat dihitung dengan rumusan Darcy – Weisbach yaitu:

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

Dimana :

$H_m = head\ minor$ (m)

$V =$ kecepatan (m/s)

$g =$ gravitasi bumi (m/s^2)

$k =$ koefisien kerugian pada *fitting*

2.9.3 Koefisien Kerugian Belokan Pipa

Ada dua macam belokan pipa yaitu belokan lengkung dan belokan patah. Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller dimana k pada persamaan 2.15 dinyatakan sebagai berikut :

$$k = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D_b}{2R} \right)^{3,5} \right] \left[\frac{\theta}{90} \right]^{3,5} \quad (16)$$

Dimana :

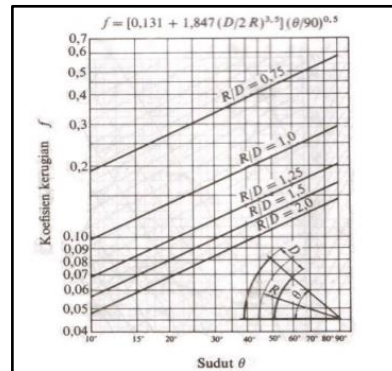
D_b = Diameter dalam belokan (m)

R = Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

Θ = Sudut belokan (derajat)

k = Koefisien kerugian

Hubungan di atas di lihatkan dalam gambar 2



Gambar 2 koefisien kerugian pada belokan
Sumber : Zainuddin, 2012

Dari percobaan Weisbach dihasilkan rumus yang umum dipakai untuk belokan patah sebagai berikut:

$$k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (17)$$

Dimana:

θ = Sudut belokan (derajat)

k = Koefisien kerugian

2.10 Kehilangan Energi Akibat Belokan Pada Pipa

Berdasarkan rumus Darcy – Weisbach :

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \text{ atau } h_f = .0051KV \quad (18)$$

Dimana :

h_f = Kehilangan tinggi tenaga (m)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s).

K = Koefisien yang besarnya ditentukan oleh tipe sambungan dan atau sudut belokan pipa.

g = Percepatan gravitasi (m/s^2).

Pada analisis aliran fluida dalam pipa ketika berada disekitar pintu masuk atau inlet pipa aliran dianggap seragam atau belum berkembang penuh. Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, aliran berkembang penuh berkorelasi dengan bilangan Reynolds. Persamaan aliran berkembang penuh adalah sebagai berikut :

$$\frac{l_1}{D} = 0,06 Re \text{ untuk aliran laminar} \quad (19)$$

$$\frac{l_1}{D} = 4,4 (Re)^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \quad (20)$$

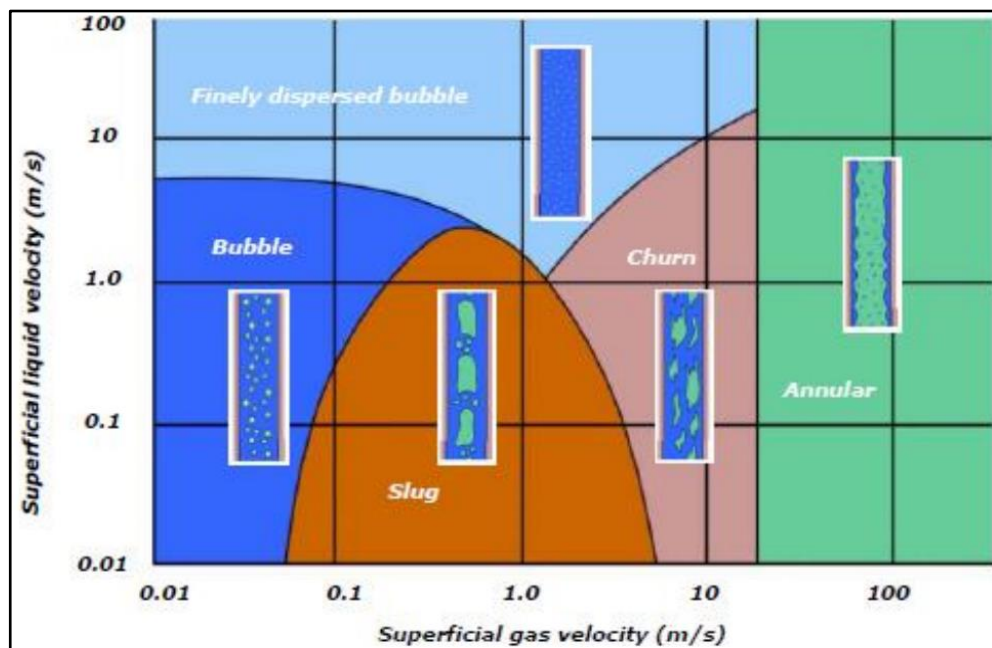
2.11 Aliran Dua Fase

Aliran dua fase merupakan salah satu jenis dari aliran multi fase, dimana pada aliran dua fase memiliki dua jenis fase yang saling berhubungan dalam suatu aliran misalnya fase-fase seperti gas dalam sebuah *liquid*. Aliran dua fase memiliki fenomena yang sangat kompleks yang sulit diprediksi dan dimodelkan. Fenomena – fenomena yang terdapat dalam aliran dua fase sendiri dapat dipengaruhi dari berbagai properti yang terdapat dalam aliran tersebut, seperti jenis dan karakteristik fluida, bentuk dan kekasaran permukaan yang dilalui aliran, orientasi, arah aliran dan lain sebagainya. Karakteristik-karakteristik fase tunggal yang umum seperti *velocity profile*, *turbulence*, dan *boundary layer* sejauh ini tidak sesuai untuk menjabarkan sifat asli dari aliran semacam ini. Akan tetapi seiring peningkatan program komputasi telah memungkinkan pengembangan model numerik yang bisa digunakan untuk melengkapi desain sistem *engineering* dari aliran dua fase. Contoh aplikasi dalam *engineering* dan *scientific* mengenai aliran dua fase, seperti aliran didalam kondensor, evaporator, boiler, *bubble coloumn reactor* dan sebagainya.

2.11.1 Pola Aliran Dua Fase (*flow patern*)

Flow patern aliran dua fase pada posisi vertikal dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu:

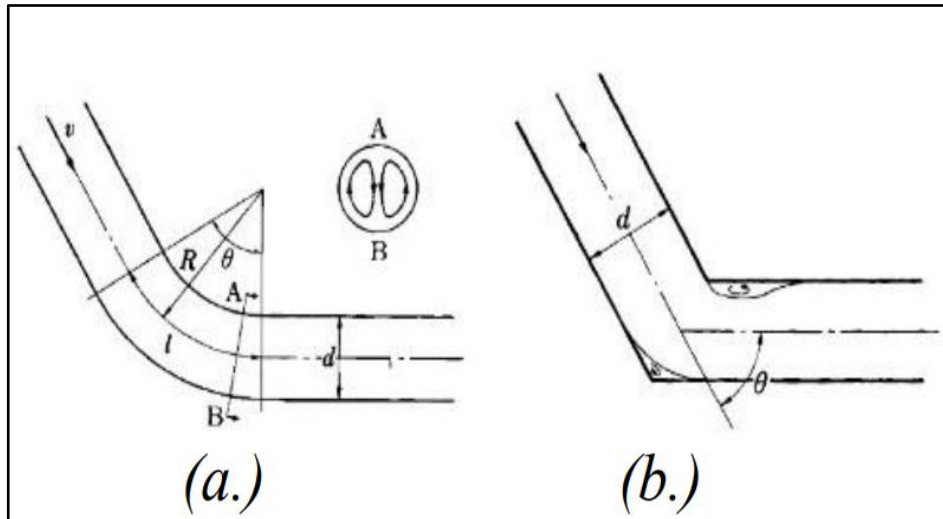
1. *Dispersed flow*, mempunyai karakteristik dengan distribusi fase yang seragam baik dari arah radial maupun aksial. Contoh dari aliran tersebut adalah *bubble flow* dan *mist flow*.
2. *Separated flow*, mempunyai karakteristik dengan distribusi fase pada arah radial tidak berkelanjutan (*non-continuous*) dan pada arah aksial mempunyai distribusi fase yang berkelanjutan (*continuous*). Contoh dari aliran tersebut adalah *stratified* dan *annular flow*.
3. *Intermittent flow*, mempunyai karakteristik pada arah aksial terdapat distribusi fase yang tidak berkelanjutan (*noncontinuous*). Contoh dari aliran tersebut adalah *churn* dan *slug flow*.



Gambar 3 Pemetaan dan pola aliran untuk aliran posisi vertikal
Sumber : Mawarni, 2023

2.11.2 Pengaruh Elbow terhadap Aliran

Elbow merupakan jenis pipa yang melengkung dengan sudut tertentu yang berfungsi sebagai pengubah arah aliran. Elbow sendiri dapat dibagi menjadi dua jenis menurut tipe geometri belokannya yaitu elbow *miter* dan elbow jari – jari (radius).



Gambar 4 Jenis-jenis elbow (a.) Elbow jari-jari (b.) Elbow *miter*
 Sumber : Mawarni, 2023

1. *Pressure drop*,

Hal ini diakibatkan oleh friksi dan *secondary flow* yang mengakibatkan timbulnya *twin eddy* (pusaran ganda). Separasi aliran, yang mengakibatkan terjadinya *vortex*, getaran dan kavitasi.

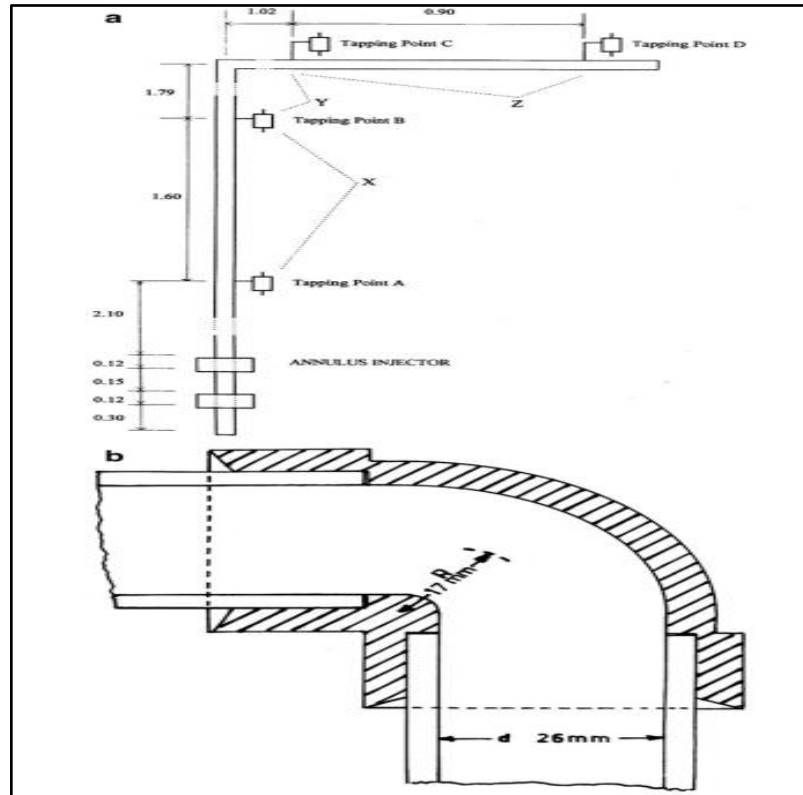
2. *Secondary flow*

Hal ini diakibatkan adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan sisi *outer wall* elbow.

2.12 Aliran Dua Fase (Cair- Gas) Pada Belokan Pipa

Pada aliran dua fase vertikal ke horizontal kondisi di kaki kaki singgung pada kedua sisi belokan, (gambar 5) akan sangat berbeda karena efek gravitasi dan gaya angkat pada kaki tangen vertikal inlet X akan absen di kaki garis singgung horizontal outlet Z. Dan seringkali rezim aliran dan fenomena aliran lainnya akan berbeda dalam dua garis singgung.

(Spedding dan Benard, 2006) menunjukkan bahwa untuk aliran dua fasa hampir vertikal sedikit gangguan dalam distribusi cairan di seluruh pipa umumnya menyebabkan kenaikan penurunan tekanan yang diamati untuk pipa vertikal lurus yang sesuai. Karena, pada umumnya, peningkatan penahanan cairan. Oleh karena itu, kemungkinan gangguan akibat belokan siku dapat mempengaruhi aliran pada garis singgung vertikal X dengan melembagakan beberapa ukuran tersedak dan peningkatan kehilangan tekanan.



Gambar 5 Schematic diagram of the test section and elbow bend
 Sumber : Spedding dan Benard, 2006

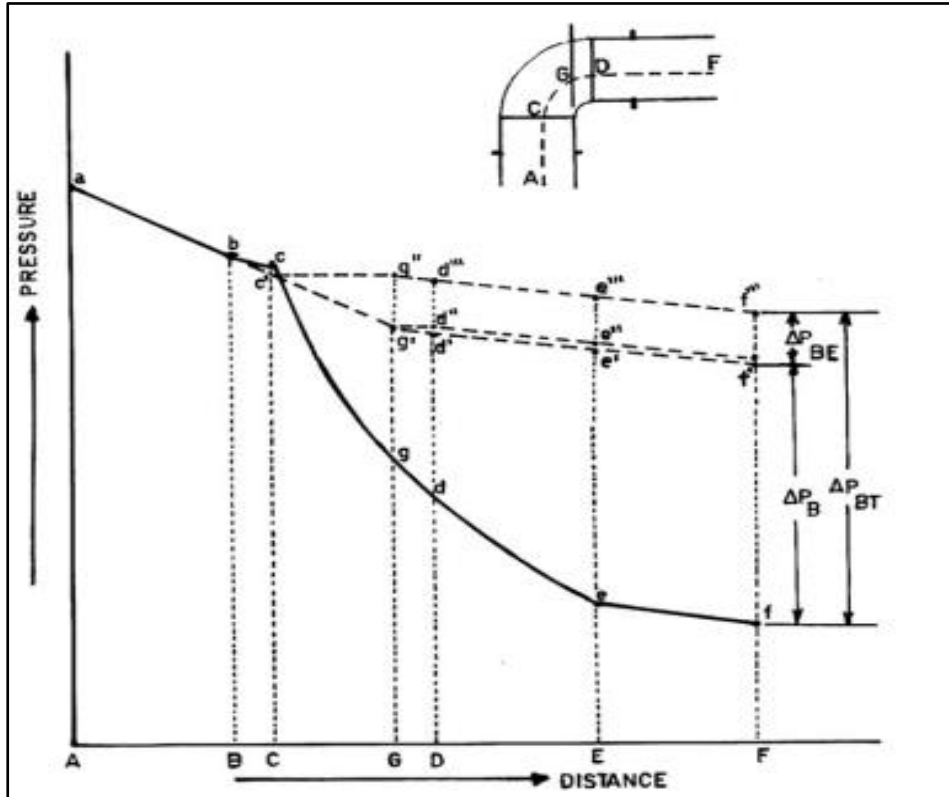
2.13 Pressure Drop

Pressure drop adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa atau aliran air. "Penurunan Tekanan" adalah hasil dari gaya gesek pada fluida seperti yang mengalir melalui tabung. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas selalu akan mengalir ke arah perlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fase, *pressure drop* dipengaruhi oleh bilangan Reynold yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida dan diameter pipa. (Jalaluddin dkk, 2019)

2.14 Pressure Drop Aliran Dua Fase Pada Belokan Pipa

Menurut (Spedding dan Benard, 2006). Kehilangan tekanan tikungan terlepas dari orientasi bidang tikungan. Hal ini tidak berlaku untuk aliran dua fasa di mana penurunan tekanan total pada setiap garis singgung harus digunakan

dalam perhitungan sebagaimana dirinci dalam Gambar 5. Oleh karena itu, perhitungan penurunan tekanan pada belokan siku akan lebih kompleks dibandingkan dengan aliran satu fasa di mana kerapatan fasa pada dasarnya konstan dan kehilangan tekanan gesekan pipa lurus dapat digunakan untuk menghitung siku.



Gambar 6 Schematic diagram of the two phase pressure loss in a horizontal to vertical 90° elbow bend.

Sumber : Spedding dan Benard, 2006