



## Studi Eksperimental Karakteristik Pressuredrop Dan Pola Aliran Dua Fase Air-Udara Pada Ellbow Mitter 60°

**Burhan Agus Saputra**

Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

**Karminto**

Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Alamat: Solobaru, Jl. Ray Solo-Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah

Korespondensi penulis: [burhan65164@gmail.com](mailto:burhan65164@gmail.com)

**Abstract.** *Two-phase flow has very complex phenomena compared to single-phase flow, including interactions between phases, surface deformation and movement between fluids, changes in flow patterns, and so on. In addition to these phenomena, one of the phenomena that often appears in two-phase flow is pressure drop. This study aims to determine the characteristics of pressure drop and two-phase flow patterns in elbow mitter with an angle of 60°. The test section is made of acrylic pipe with an inner diameter of 36 mm and connected with PVC pipe from horizontal to vertical positions. Testing is carried out by varying the superficial velocity of water from 0.022 m/s - 0.034 m/s and variations in air volumetric quality ( $\beta$ ) from 0.80 - 0.92. With water - air as the working fluid. The flow pattern is visualized with a cellphone camera and the pressure drop is measured with a U-tube manometer. The results of this study show that the lowest pressure drop value is at Usl 0.032m/s and  $\beta$  0.92 with a pressure drop value of 402.20 N/m, and the highest pressure drop value is at Usl 0.028m/s and  $\beta$  0.80 with a value of 1020.20 N/m with an average calculation value of 667.70 N/m, and the most dominant flow patterns are dispersed bubble flow, plug flow, slug flow, and churn flow.*

**Keywords:** FLOW PATTERN, PRESSURE DROP.

**Abstrak.** Aliran dua fasa memiliki fenomena yang sangat kompleks dibanding dengan aliran satu fasa diantaranya adalah interaksi antar fasa, deformasi permukaan dan pergerakan antar fluida, perubahan pola aliran (*flow pattern*) dan lain sebagainya. Selain fenomena-fenomena tersebut salah satu fenomena yang sering muncul dalam aliran dua fasa adalah penurunan tekanan (*pressure drop*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *pressure drop* dan pola aliran dua fasa pada ellbow mitter dengan sudut 60°. Seksi uji terbuat dari pipa akrilik dengan diameter dalam 36 mm dan disambung dengan pipa pvc dari posisi horizontal menuju vertikal. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan superfisial air dari 0.022 m/s - 0.034 m/s dan variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) dari 0.80 - 0.92. Dengan fluida kerja air – udara. Pola aliran divisualisasikan dengan kamera handphone dan penurunan tekanan diukur dengan manometer pipa -U. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai *pressure drop* terendah terdapat pada Usl 0.032m/s dan  $\beta$  0.92 dengan nilai *pressure drop* 402.20 N/m, dan nilai *pressure drop* tertinggi terdapat pada Usl 0.028m/s dan  $\beta$  0.80 dengan nilai 1020,20 N/m dengan

Received August 5, 2025; Revised 2 November, 2025; Accepted November 15, 2025

\*Burhan Agus Saputra, [burhan65164@gmail.com](mailto:burhan65164@gmail.com)

nilai rata – rata perhitungan 667.70 N/m, dan pola aliran yang paling dominan adalah pada *dispersed bubble flow*, *plug flow*, *slug flow*, dan *churn flow*.

**Kata kunci:** POLA ALIRAN, PENURUNAN TEKANAN

## LATAR BELAKANG

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan jaringan perpipaan semakin banyak dijumpai dalam dunia industri seperti pada industri perminyakan, industri kimia, industri makanan dan minuman. Hal tersebut dikarenakan mayoritas pendistribusian bahan mentah dan pengolahannya akan lebih efisien bila menggunakan sistem perpipaan (Rahmandhika et al., 2020). Sistem perpipaan ini tidak hanya terdiri dari pipa utama saja, namun juga beberapa komponen pendukung seperti belokan, siku, katup, pembesaran dan pengecilan saluran, serta kombinasi saluran. Namun sering kali pada sistem perpipaan terdapat kerugian baik kerugian minor maupun mayor yang mempengaruhi efektivitasnya dalam proses distribusi fluida. Dalam proses distribusi fluida terdapat banyak sekali fenomena yang terjadi di dalamnya salah satunya adalah aliran dua fase (Mahmuddin et al., 2023).

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multi fase (*multiphase*), aliran dua fase didefinisikan sebagai aliran fluida yang terdiri dari dua zat yang mengalir secara bersamaan. Baik fase cair-gas, cair-padat, dan padat-gas. Aliran dua fasa memiliki fenomena yang sangat kompleks dibanding dengan aliran satu fase diantaranya adalah interaksi antar fase, deformasi permukaan dan pergerakan antar fluida, perubahan pola aliran (*flow pattern*) dan lain sebagainya (Nikmah & Korawan, 2018).

Selain fenomena-fenomena diatas salah satu fenomena yang sering muncul dalam aliran dua fase adalah penurunan tekanan (*pressure drop*) . pada aliran satu fase, *pressure drop* dapat terjadi karena dipengaruhi oleh bilangan reynold (*reynold number*) yang didapat dari massa jenis, viskositas, dan pengaruh diameter pipa. Sedangkan pada aliran dua fase *pressure drop* terjadi tidak hanya dipengaruhi oleh Reynold number saja. Namun juga fase-fase yang bercampur didalamnya, adanya interaksi antara fase yang berbeda, bentuk geometri dan orientasi (vertikal maupun horizontal) , arah aliran yang berbeda (searah maupun berlawanan arah), deformasi permukaan dan sebagainya yang mempunyai pengaruh yang signifikan. sehingga akan terdapat banyak pola aliran (*flow*

*patern*) yang terbentuk dalam saluran tersebut akibat interaksi antar fase fluida tersebut. Aliran yang mengalami perubahan pola aliran dapat menyebabkan pressure drop yang berubah-ubah pula atau berfluktuasi (Adiwibowo, 2010). Karena pengaruh dari interaksi antar fase, bentuk geometri pipa dan parameter-parameter yang terdapat dalam aliran dua fase maka pola aliran akan berubah-ubah. Perubahan pola aliran tersebut dapat menyebabkan nilai *pressure drop* pada aliran akan berubah-ubah (*fluktuatif*) yang akan merugikan transportasi fluida dalam sistem perpipaan. Selain itu terdapat komponen-komponen pendukung dalam sistem perpipaan (*fitting and valve*) juga memiliki pengaruh besar dalam perubahan nilai *pressure drop* (Mawarni et al., 2023). Misalnya pada penggunaan sambungan elbow dalam sistem perpipaan yang sangat umum untuk memenuhi kebutuhan desain dan geometri dari sebuah sistem perpipaan, namun sambungan elbow memiliki nilai *pressure drop* yang tinggi dibandingkan dengan pipa yang memiliki penampang lurus, hal ini dikarenakan adanya perubahan pada geometri pipa dan lintasan yang menyebabkan munculnya pola aliran yang berdampak pada perubahan nilai *pressure drop* (Arif Yunizar Nugraha et al., 2014).

Oleh karena itu diperlukan kegiatan pengamatan untuk mengidentifikasi fenomena-fenomena yang terjadi pada aliran dua fase untuk mengetahui besarnya nilai *pressure drop* dan pola aliran yang terjadi pada sambungan elbow. Fokus dari penelitian ini adalah pada belokan patah (*elbow mitter*) dengan sudut 60°. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *pressure drop* dan pola aliran (*flow patern*) yang terjadi pada *elbow mitter* sudut 60° dari posisi horizontal menuju vertikal ke atas. untuk menambah ruang lingkup pada penelitian dengan pengembangan menggunakan pipa pvc dengan diameter dalam piapa 36 mm kemudian disambung dengan *elbow mitter* sudut 60° dari horizontal menuju vertikal, dengan variasi kecepatan superfisial air antara lain 0.022 m/s, 0.025 m/s, 0.028 m/s, 0.032 m/s, 0.034 m/s dan variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) antara lain 0.80, 0.84, 0.88, 0.92 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penurunan tekanan dan karakteristik distribusi gelembung udara pada aliran dua fase.

## KAJIAN TEORITIS

### 1. Belokan Pipa (*Elbow*)

Belokan pipa (*Elbow*) banyak digunakan sehingga menjadi salah satu solusi dalam sistem transportasi perpipaan dengan fleksibilitas yang besar memungkinkan

dilakukan pengarahannya (Rounting) pada pendistribusian fluida, sehingga menjadi parameter yang mempengaruhi struktur pola aliran multi fase (Nikmah & Korawan, 2018). Namun belokan pipa memiliki nilai pressure drop yang tinggi dibandingkan dengan pipa horizontal karena adanya perubahan pada geometri dan lintasan yang menyebabkan munculnya pola aliran sehingga terjadi aliran terpisah yang menyebabkan terjadinya pressure drop yang tinggi (Arif Yunizar Nugraha et al., 2014). Pada aplikasinya penggunaan elbow pada sistem perpipaan dapat menimbulkan fenomena yang cenderung merugikan antara lain:

- a) *Pressure drop*, fenomena ini disebabkan oleh friksi dan *secondary flow* yang mengakibatkan terjadinya pusaran ganda (twin eddy), separasi aliran (*separation flow*), yang berdampak mengakibatkan vortex, getaran, dan kavitasi.
- b) *Secondary flow*, fenomena ini disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan pada sisi bagian dalam dan luar dinding elbow.

## 2. Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

*Pressure drop* merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan penurunan tekanan pada satu titik dalam aliran yang terjadi pada sistem perpipaan. Penurunan tekanan merupakan hasil dari gaya gesek yang terjadi pada fluida yang mengalir pada pipa. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran, faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida yang mengalir melalui pipa dan nilai viskositas fluida (Sayoga & Nuarsa, 2012). Selain kedua faktor tersebut ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai penurunan tekanan pada aliran dua fase antara lain :

- a) Pola aliran, pola aliran pada aliran dua fase sangat beragam dan dipengaruhi oleh variasi kecepatan fluida yang mengalir, viskositas fluida, serta geometri pipa (diameter, pembesaran atau pengecilan saluran, dan sudut belokan pipa). Pola aliran yang berubah dapat mempengaruhi *pressure drop* yang akan berubah-ubah pula atau berfluktuasi.
- b) Faktor gesekan, gesekan yang terjadi antara permukaan pipa dengan fluida yang mengalir akan menimbulkan penurunan tekanan, selain itu gesekan antara permukaan kedua fase fluida yang mengalir secara bersamaan juga akan mempengaruhi nilai penurunan tekanan.

- c) Arah aliran, arah aliran juga sangat berpengaruh terhadap nilai penurunan tekanan baik aliran yang searah maupun berlawanan arah.

Untuk mengevaluasi eksperimen dari *pressure drop* pada aliran dua fase air-udara yang melewati belokan vertikal dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta P_{vertikal} = [\Delta z + (h_1 - h_2)] \times \rho \times g]$$

Dimana,

$\Delta P_{ver}$  = pressure drop pada pipa vertikal (N/m<sup>2</sup>)

$\Delta Z$  = elevansi antara pressure tabs 1 & 2 (m)

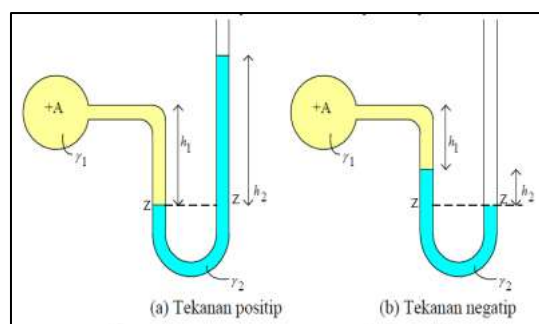
$h_1 - h_2$  = ketinggian level air dari manometer pipa U (m)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

### 3. Manometer Pipa U

Manometer pipa u merupakan alat yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan fluida yang terdapat dalam sebuah sistem. Alat ini terdiri dari dua lengan yang berbentuk U yang diisi dengan cairan yang berbeda dengan cairan yang mengalir dalam sistem (umumnya air, minyak, atau air raksa). Pada manometer pengukuran perbedaan tekanan menggunakan prinsip tekanan hidrostatik. Ketika terdapat perbedaan tekanan antara dua titik pada manometer maka cairan di dalamnya akan bergerak, menyebabkan perbedaan ketinggian pada manometer pipa U, perbedaan ketinggian inilah yang akan diukur untuk menentukan perbedaan tekanan yang terjadi didalam sistem. Berikut merupakan gambar manometer pipa U yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. manometer pipa U jurnal (Sayoga & Nuarsa, 2012)

Untuk menghitung perbedaan tekanan pada manometer pipa U dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_a = P_{atm} + h_2 \gamma_2 - h_1 \gamma_1$$

Dimana :

$P_a$  = tekanan dititik A ( $N/m^2$ )

$P_{atm}$  = tekanan atmosfer ( $N/m^2$ )

$h_1$  = perbedaan tinggi fluida 1 dan 2 (m)

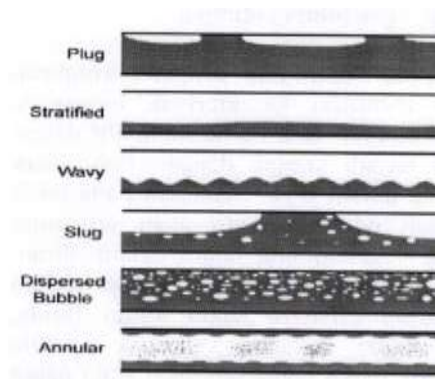
$h_2$  = perbedaan tinggi fluida 2 dan atmosfer (m)

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

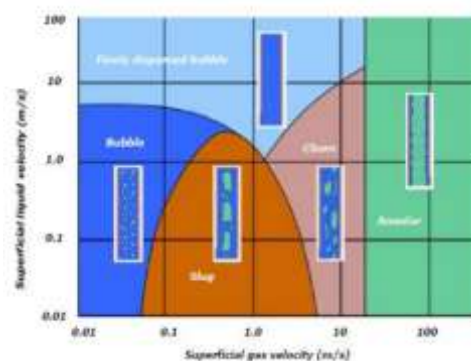
#### 4. Pola Aliran Dua Fase

Penelitian aliran dua fase dibagi menjadi beberapa variasi, seperti berdasarkan fase yang mengalir (cair-gas, gas-padat, dan padat-gas), arah aliran (searah atau berlawanan arah), bentuk geometri dan orientasi (vertikal maupun horizontal). (Mahmuddin, Syamsuddin, et al., 2024).

Beberapa peneliti seperti Hubbard and Dukler 1966, Wallis 1969, Weisman 1983 telah melakukan penelitian tentang pola aliran pada pipa horizontal dan membuat peta pola aliran berdasarkan kecepatan superfisial yang dapat dijadikan acuan dalam merencanakan sistem perpipaan pada industri (Arya Wulung & Antariksa Pebriani, 2012). Berikut ini merupakan bentuk-bentuk gelembung dari aliran dua fase dan peta pola alirannya dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Pola aliran pada pipa horizontal jurnal (Arya Wulung & Antariksa Pebriani, 2012)



Gambar 3. Peta pola aliran pada aliran dua fase jurnal (Mawarni et al., 2023)



- a) Aliran *Plug*, dimana gelembung – gelembung kecil udara untuk membentuk gelembung kantung yang lebih besar pada jarak tertentu kemudian bersatu untuk menjadi *plug-plug* yang lebih panjang.
- b) Aliran *Stratified*, dimana permukaan bidang sentuh antara fase cair-gas sangat halus dan terjadi pemisahan.
- c) Aliran *Wave*, dimana amplitudo gelombang meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan aliran udara.
- d) Aliran *Slug*, dimana amplitudo semakin besar hingga menyentuh bagian atas pada permukaan dalam pipa.
- e) Aliran *Bubble* dan *Dispersed Bubble Flow*, sama seperti aliran annular pada aliran vertikal hanya saja liquid film lebih tebal pada bagian bawah dari pada bagian atas pipa.
- f) Aliran *Churn flow*, dimana terbentuk pola aliran yang tidak stabil karena perbedaan kecepatan antara fase gas dan cair sehingga menyebabkan fase gas dan cair terdispersi dan tercampur secara tidak stabil.

Keccepatan superfisial dari tiap fase bisa digambarkan sebagai volumetric flux, yaitu flow rate pada tiap fase yang mengalir di sepanjang pipa dengan asumsi bahwa fase mengalir sendiri didalam pipa, sehingga untuk kecepatan superfisial liquid ( $U_{sl}$ ) dan kecepatan superfisial gas ( $U_{sg}$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut (Korawan, 2015).

$$U_{sl} = \frac{Q_l}{A}$$

$$U_{sg} = \frac{Q_g}{A}$$

$$\text{dan, } A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

dimana :

$U_{sl}$  = kecepatan superfisial liquid (m/s)

$Q_l$  = debit aliran liquid (m<sup>3</sup>/s)

$U_{sg}$  = kecepatan superfisial gas (m/s)

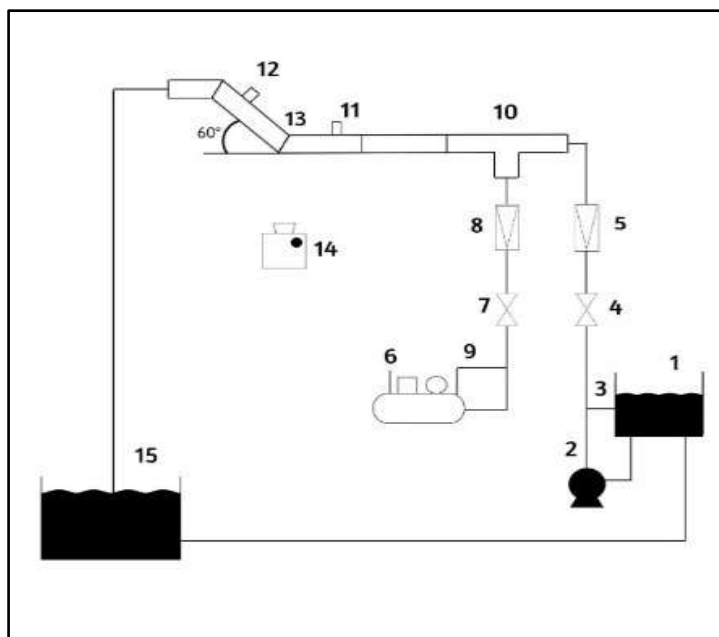
A = luas area pipa yang dilewati fluida ( $\text{m}^2$ )

$$\beta = \frac{U_{sg}}{U_{sg} + U_{sl}}$$

B = kualitas volumetrik udara

$U_{sl}$  = kecepatan superfisial liquid (m/s)

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Peneliti merancang desain skema pengujian yang kemudian akan dibuat dalam bentuk nyata yang akan digunakan sebagai media penelitian, gambar skema penelitian dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Gambar skema pengujian

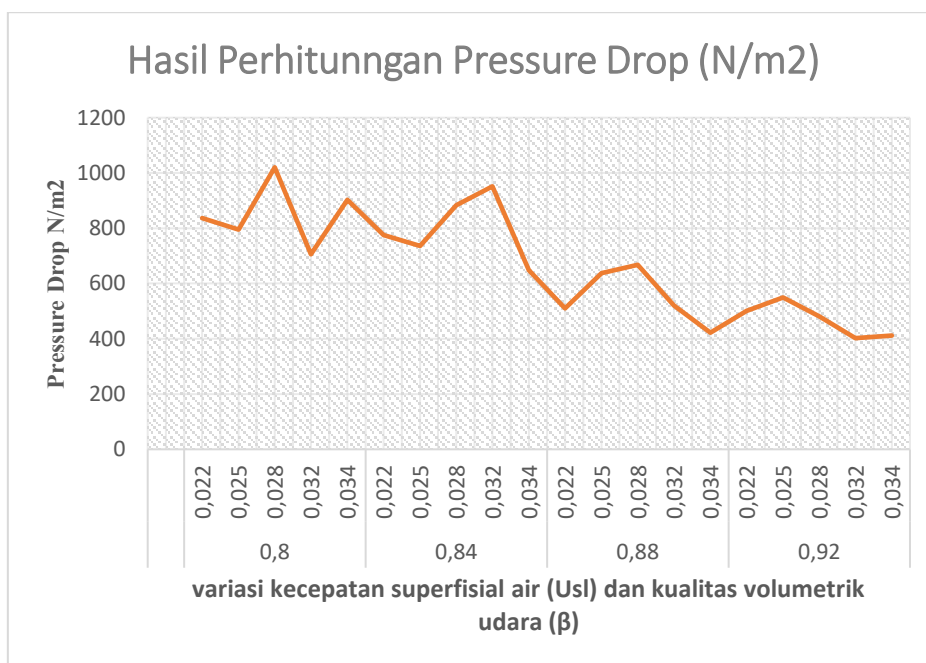
Keterangan gambar:

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Tangki air 1          | 9. Bypass udara             |
| 2. Pompa air             | 10. Mixer area              |
| 3. Bypass ke tangki air1 | 11. Ke pressure tabs 1      |
| 4. Katup aliran air      | 12. Ke pressure tabs 2      |
| 5. Flow meter air        | 13. Seksi uji               |
| 6. Kompresor udara       | 14. Camera high speed video |
| 7. Katup aliran udara    | 15. Tangki air 2            |
| 8. Flow meter udara      |                             |

Dari skema pengujian diatas fase air dan udara akan dialirkan secara bersamaan dari *mixer area* (inlet) menuju seksi uji pada *elbow mitter* hingga membentuk pola aliran dua fase kemudian diukur dengan manometer untuk mengetahui perbedaan *pressure drop* sebelum masuk *elbow mitter* dan sesudah melauai *elbow mitter*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pressure Drop Aliran Dua Fase Air-Udara



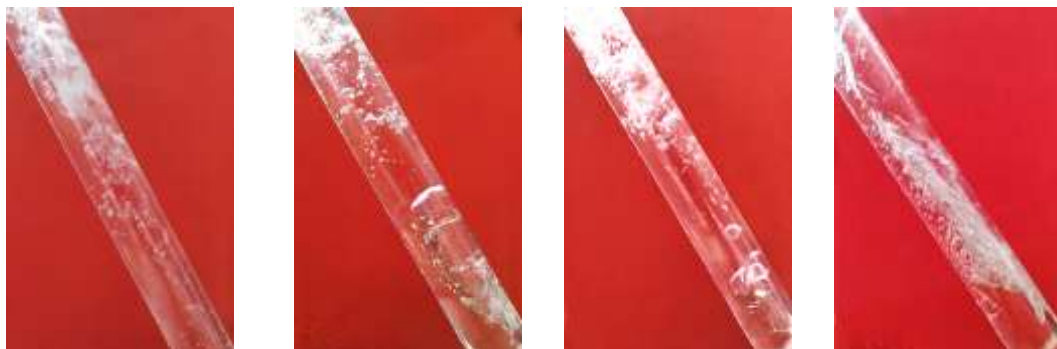
Gambar 5. Grafik penurunan tekana pada *elbow mitter*

Dari hasil keseluruhan perhitungan dan grafik pressure drop disemua variasi peningkatan kecepatan superfisaial air (Usl) dan kualitas volumetrik udara (β)

menunjukkan penurunan nilai pressure drop dengan nilai terendah yaitu 402.2 N/m yang terdapat pada variasi peningkatan kecepatan superfisial air ( $U_{sl}$ ) 0.032m/s dengan nilai variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) 0.92, dan nilai pressure drop tertinggi yaitu 1020.20N/m yang terdapat pada variasi peningkatan kecepatan superfisial air ( $U_{sl}$ ) 0.028m/s dengan nilai variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) 0.80, dan dengan rata – rata hasil perhitungan pressure drop yaitu 667.70N/m. Hal ini disebabkan karena menurunnya nilai massa jenis campuran dari aliran dua fasa tersebut, bertambahnya nilai variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) akan mempengaruhi nilai massa jenis campuran pada aliran dua fasa. Dimana nilai massa jenis aliran dua fasa akan lebih rendah dari aliran satu fasa, setiap peningkatan nilai variasi kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) pada keseluruhan nilai kecepatan superfisial air ( $U_{sl}$ ) yang sudah ditentukan akan menurunkan nilai pressure drop pada aliran dua fasa.

## 2. Pola Aliran Dua fasa

### a) Pola Aliran Dua Fase Pada Kecepatan Superfisial Air ( $U_{sl}$ ) 0.022 M/s



1)  $\beta = 0.80$

2)  $\beta = 0.84$

3)  $\beta = 0.88$

4)  $\beta = 0.92$

Hasil visualisasi pola aliran pada kecepatan superfisial air ( $U_{sl}$ ) 0.022m/s ditunjukkan pada gambar 1 – 4, pola aliran yang teramati adalah *dispersed bubble flow* pada gambar 1 dimana aliran membentuk gelembung – gelembung kecil yang tersebar di sepanjang pipa dan cenderung mengalir pada bagian atas pipa hal ini disebabkan karena kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) yang relatif rendah, gelembung – gelembung gas cenderung untuk gelembung yang lebih besar (*plug flow* atau *slug flow*). Selanjutnya gelembung bertambah besar seiring dengan peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) pada gambar 2 terjadi pola aliran *plug*

*flow* dan sebagian pada gambar 3 dimana terbentuk gelembung – gelembung gas yang relatif besar dan memanjang seperti kapsul yang mengalir sepanjang pipa bagian atas. Selanjutnya terjadi aliran *churn flow* pada gambar 4 yang diakibatkan oleh penambahan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) yang lebih tinggi dimana terdapat pencampuran yang tidak teratur antara fase gas dan cair dengan fase gas yang lebih mendominasi sehingga campuran antara fase gas dan cair tidak stabil dan terjadi efek “*churning*” teracak.

**b) Pola Aliran Dua Fase Pada Kecepatan Superfisial Air (Usl) 0.025 M/s.**



1)  $\beta = 0.80$

2)  $\beta = 0.84$

3)  $\beta = 0.88$

4)  $\beta = 0.92$

Hasil visualisasi pola aliran pada kecepatan superfisial air (Usl) 0.025m/s ditunjukkan pada gambar 1 – 4, pola aliran yang terbentuk pada gambar 1 adalah *slug flow* dimana terbentuk gembung – gelembung besar seperti kantung namun memanjang mengisi bagian atas pipa yang disebabkan karena perbedaan kecepatan aliran antara fase gas dan cair, selain itu bentuk geomteri pipa yang membelok namun berbentuk sudut ini juga mempengaruhi pembentukan gelembung – gelembung *slug*. Selanjutnya pada gambar 2 terbentuk aliran *dispersed bubble flow* dimana terbentuk gelembung – gelembung kecil yang tersebar secara merata disepanjang pipa yang menempati bagian atas pipa yang disebabkan oleh peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ). Selanjutnya pada gambar 3 – 4 terbentuk pola aliran *churn flow* dimana gelembung – gelembung udara membentuk pola acak yang tersebar disepanjang pipa yang terjadi karena peningkatan kecepatan fasa gas.

**c) Pola Aliran Dua Fase Pada Kecepatan Superfisial Air (Usl) 0.028 M/s**



1)  $\beta = 0.80$



2)  $\beta = 0.84$



3)  $\beta = 0.88$



4)  $\beta = 0.92$

Hasil visualisasi pola aliran pada kecepatan superfisial air ( $U_{sl}$ ) 0.028m/s ditunjukkan pada gambar 4.14 – 4.17, hasil visualisasi pola aliran pada  $U_{sl}$  0.028 tidak jauh berbeda dengan  $U_{sl}$  0.025m/s yaitu terbentuk pola aliran *dispersed bubble flow* pada gambar 4.14 yaitu terbentuknya gelembung – gelembung kecil yang tersebar secara merata disepanjang pipa yang menempati bagian atas pipa. Selanjutnya pola aliran *plug flow* yang terbentuk pada gambar 4.15 dimana terbentuk gelembung kantung yang relatif kecil disepanjang pipa bagian atas. Dan terbentuknya *churn flow* pada gambar 4.16 – 4.17 dimana aliran acak mendominasi pada pipa karena peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ).

**d) Pola Aliran Dua Fase Pada Kecepatan Superfisial Air ( $U_{sl}$ ) 0.032 M/s dan 0.032 M/s**



1)  $\beta = 0.80$



2)  $\beta = 0.84$



3)  $\beta = 0.88$



4)  $\beta = 0.92$





5)  $\beta = 0.80$



6)  $\beta = 0.84$



7)  $\beta = 0.88$



8)  $\beta = 0.92$



Selanjutnya pada kecepatan superfisaial air ( $U_{sl}$ ) 0.032m/s dan 0.034m/s terbentuk pola aliran yang sama yaitu aliran *slug flow* pada  $U_{sl}$  0.032 m/s pada gambar 1 – 2 dan pada  $U_{sl}$  0.034m/s pada gambar 5 – 6. Yaitu terbentuknya aliran kantung yang besar disepanjang pipa bagian atas yang disebabkan oleh peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ). Selanjutnya karena peningkatan kecepatan superfisaial air ( $U_{sl}$ ) yang tinggi dan peningkatan kualitas volumetrik udara  $\beta$  menyebabkan terbentuk aliran *churn flow* pada  $U_{sl}$  0.032 m/s pada gambar 3 – 4 dan pada  $U_{sl}$  0.034m/s pada gambar 7 – 8 yaitu terbentuknya gelembung – gelembung acak sehingga pencampuran antara fasa gas dan cair yang tidak teratur yang didominasi oleh fasa gas yang terdapat pada bagian atas sampai tengah pipa.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

- a) Hasil penelitian menunjukkan nilai pressure drop pada aliran dua fasa sangat dipengaruhi oleh peningkatan kecepatan superfisaial air ( $U_{sl}$ ) dan peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ), dimana nilai terendah terdapat pada  $U_{sl}$  0.032m/s dan  $\beta$  0.92 dengan nilai pressure drop 402.20 N/m, dan nilai tertinggi terdapat pada  $U_{sl}$  0.028m/s dan  $\beta$  0.80 dengan nilai 1020,20 N/m dengan nilai rata – rata perhitunga 667.70 N/m hal ini disebabkan karena menurunnya nilai massa jenis campuran dari aliran dua fasa.
- b) Pola aliran yang terbentuk pada hasil penelitian ini dominan pada *dispersed bubble flow*, *plug flow*, *slug flow*, dan *churn flow*. Penambahan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) berpengaruh pada pembentukan gelembung – gelembung pada aliran dua fasa, semakin tinggi peningkatan kualitas volumetrik udara ( $\beta$ ) maka pola aliran yang terbentuk adalah *churn flow*.

### 2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diharapkan bisa digunakan atau dikembangkan lebih jauh pada penelitian selanjutnya, maka beberapa saran berikut bisa dipertimbangkan :

1. Penelitian selanjutnya menggunakan variasi kemiringan pipa.

2. Mempertimbangkan penggunaan variasi campuran yang berbeda massa jenis dan viskositasnya.
3. Mempertimbangkan penggunaan variasi diameter pipa.

## DAFTAR REFERENSI

- A. Rahmandhika & H. Hendaryati, A. M. (2024). Analisis pengaruh diameter pipa terhadap perubahan sub-regime pola aliran 2 fasa stratified air-udara pada pipa horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 01(1), 13–19. doi: 10.29303/dtm.v14i1.648
- Adiwibowo, P. H. (2010). Eksperimental Karakteristik Pressure Drop pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal. *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 65–70.
- Arif Yunizar Nugraha, Rudy Soenoko, & Slamet Wahyudi. (2014). Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di Belokan 90°. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), 225–238.
- Arya Wulung, & Antariksa Pebriani. (2012). Aliran Dua Fase Liquid-Gas Pada Pipa Horizontal Diameter 46 Mm. *Jurnal Teknik Energi*, 2(2), 164–169. <https://doi.org/10.35313/energi.v2i2.1776>
- Awaluddin, S. W. dan A. S. W. (2014). Analisis Aliran Fluida Dua Fase ( Udara-Air ) melalui Belokan. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), 217–224. Rekayasa Mesin (2014) 5(3) 217-224
- Junita, B., Intang, A., & Ependi, S. (2024). Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Tekanan Pada Saluran Pipa 3 Inci. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 05(01), 96–101. doi: 10.51510/sinergipolmed.v5i1.1543
- Korawan, A. D. (2015). *Pola Aliran Dua Fase ( Air + Udara ) Pada Pipa Horisontal Dengan Variasi Kecepatan Superfisial Air* Keywords : Abstract : 14(September), 57–63.
- Mahmuddin, Iswansyah, & Habiba, M. S. (2023). Analisis Pola Aliran dan Perubahan Beda Tekanan pada Aliran Dua Fase Searah dalam Pipa Horisontal. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 9(2), 155–161.

- Mahmuddin, M., Hasan, H., & Habiba, M. S. (2024). Studi Eksperimental tentang Perubahan Beda Tekanan dalam Aliran Dua Fase Cair-Cair dengan Variasi Sudut Ekspansi pada Saluran Pembesaran Mendadak. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(1), 334–342.
- Mahmuddin, Syamsuddin, Z., Habiba, M. S., & Efendi, R. (2024). Kajian Eksperimental Karakteristik Beda Tekanan Aliran Dua Fase Gas – Cair dengan Kemiringan Saluran Pipa Lurus. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(2), 376–382.
- Mawarni, D. I., Sutarto, E., & Junaidi, M. (2023). Studi Eksperimental Karakteristik Pressure Drop Aliran Dua Fase Air Udara Pada Elbowmiter. *Simetris (Issue Is on the Progress)*, 17(1), 42–45.
- Nikmah, I. U., & Korawan, A. D. (2018). Simulasi Karakteristik Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Rangkaian Pipa Vertikal, Elbow 45° Dilanjutkan Pipa Miring Menggunakan ANSYS FLUENT 16.0. *Simetris*, 12(2), 15–19.
- Rahman, M. S., Mesin, J. T., Teknik, F., Indonesia, U. M., Program, M., Magister, P., Mesin, T., & Indonesia, U. M. (2024). Karakterisasi Aliran Dua Fase Gas-Cair dalam Saluran Horisontal dengan Berbagai Kekentalan Cairan. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(1), 165–172.
- Rahmandhika, A., Saifullah, A., Ansyah, P. R., & Mokhtar, A. (2020). Pengaruh Liquid Hold-Up terhadap Transisi Pola Aliran 2 Fasa Air-Udara dari Stratified Ke Slug pada Pipa 50 mm. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4(2), 75. <https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.279>
- Santoso, B., Fithroh, D. R., Indarto, Deendarlianto, & Thomas, S. W. (2011). Kaji Eksperimen Kecepatan Pola Aliran Slug Air-udara pada Aliran Dua Fase Searah Pipa Horisontal Menggunakan High Speed Video Camera. *Mekanika*, 10(September), 54–57.
- Sayoga, I. M. A., & Nuarsa, I. M. (2012). *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. 2(2), 75–83.
- Zainuddin, M., & dkk. (2022). Studi Aliran Dua Fase Gas dan Cair Pada Belokan Pipa 90°. *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur Dan Sains*, 1(12), 1–9.