

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Aliran fluida merupakan salah satu pengetahuan dalam teknik kimia yang membahas mengenai perilaku fluida pada kondisi yang dinamis, karena teknik kimia erat kaitannya dengan proses, dan proses secara tersirat menjelaskan perubahan serta pada dasarnya bersifat dinamis.

Pada percobaan ini, aliran fluida cair dirancang secara tertutup, yaitu melalui sistem perpipaan dari posisi yang lebih rendah ke posisi yang lebih tinggi dengan bantuan tenaga pompa. Dalam praktiknya, aliran fluida dalam suatu sistem perpipaan dapat mengalami berbagai permasalahan yang memengaruhi efisiensi aliran. Hambatan ini disebabkan oleh karakteristik sistem perpipaan itu sendiri [1]. Contohnya adalah suatu sistem perpipaan yang dilengkapi *fitting* berupa kran (*valve*), belokan (*elbow*), pembesaran (*expansion*), pengecilan (*reduction*), T (*Tee*), dan manometer [7].

Dalam sistem perpipaan seperti ini, fenomena *head loss* atau kehilangan tekanan merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan. *Head loss* terjadi akibat adanya hambatan yang dialami fluida saat mengalir, baik karena gesekan antara fluida dengan dinding pipa maupun akibat gangguan aliran oleh komponen-komponen tambahan seperti sambungan dan perlengkapan pipa.

Cairan yang digunakan dalam percobaan ini adalah air yang ditampung dalam tangki sehingga dapat digunakan kembali (*recycle*). Aplikasi prinsip perpindahan massa dilakukan dengan menghitung debit aliran yang diatur melalui pembukaan *valve*, sedangkan aplikasi perpindahan momentum ditunjukkan melalui gaya dorong dari pompa yang mengalirkan cairan, di mana nilai *head loss* dapat dihitung berdasarkan kondisi pipa dan *fitting* yang dilewati fluida.

#### 1.2 Rumusan Masalah

Pada percobaan ini dilakukan menggunakan alat *fluid friction measurement apparatus* FM100. Pada praktikum aliran fluida ini sudah disediakan rangkaian alat berupa tangki air, pompa, dan sistem perpipaan termasuk manometer serta *pressure transmitter* sebagai alat ukur *head loss*. Sehingga praktikan diharapkan mampu mengoperasikan alat dan menghentikan kembali, serta mencari data hasil percobaan, merubah debit aliran yang berkaitan dengan perhitungan laju alir,

mencari bilangan *Reynold*, mencari nilai *head loss*, dan menentukan nilai faktor friksi pipa lurus maupun *fitting*.

### 1.3 Tujuan Percobaan

Tujuan dari praktikum ini adalah:

1. Dapat menghitung laju alir dengan menggunakan alat ukur yang ada.
2. Dapat menghitung bilangan *Reynold* pada setiap perubahan laju aliran.
3. Dapat menghitung *head loss* dari aliran dengan membaca beda tinggi manometer ataupun membaca *pressure transmitter*
4. Dapat menghitung faktor K dari *fitting* yang berupa  $90^\circ$  bend,  $90^\circ$  elbow,  $45^\circ$  elbow,  $45^\circ$  Y ( $135^\circ$  flow),  $45^\circ$  Y ( $180^\circ$  flow),  $90^\circ$  T ( $90^\circ$  flow),  $90^\circ$  T ( $180^\circ$  flow), sudden enlargement, sudden contraction, inline strainer.
5. Dapat menghitung faktor K pada gate valve serta globe valve.
6. Mampu menjelaskan hubungan antara *head loss* dengan *velocity head*.
7. Mampu menjelaskan hubungan antara laju alir dengan bilangan *Reynold* dan *head loss*.

### 1.4 Manfaat Percobaan

Dengan melakukan percobaan aliran fluida, praktikan memiliki pengetahuan mengenai aliran fluida dalam sistem perpipaan dan faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti bilangan *Reynold*, *fitting*, dan *head loss*, serta memiliki keterampilan dalam mengoperasikan aliran fluida pada sistem perpipaan seperti membaca alat ukur (manometer) dan mengatur debit.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Fluida

Fluida atau zat alir adalah zat yang bisa mengalir. Zat cair dapat mengalir dengan sendirinya dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah atau tekanan tinggi ke tekanan rendah. Sedangkan gas mengalir dengan sendirinya dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Fluida dapat dibagi menjadi dua yaitu cairan dan gas. Molekul dalam cairan saling berdekatan oleh karena itu cairan memiliki volume tertentu dan tidak dapat mengisi keseluruhan ruang dengan volume yang lebih besar. Sedangkan gas memiliki molekul yang selalu bergerak bebas dan mengisi seluruh volume ruang [6]. Bila tidak memenuhi persyaratan tersebut, maka untuk mengalirkan fluida harus direkayasa dengan penambahan tenaga dari luar. Untuk zat cair menggunakan pompa, sedangkan gas menggunakan *fan*, *blower*, atau kompresor.

#### 2.2 Klasifikasi Aliran Fluida

Ditinjau dari pengaruh yang terjadi apabila fluida mengalami perubahan tekanan, maka aliran fluida dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

##### 1. Fluida tak mampat (*incompressible*)

Apabila terjadi perubahan tekanan pada proses tetapi tidak mengalami perubahan sifat fisik, misalnya jika suatu fluida mengalami perubahan tekanan tetapi volume tetap sehingga rapat massa (*density*) juga tetap. Jenis fluida ini adalah fluida fase cair stabil, misalnya: air, air raksa, minyak, dan cairan lain.

##### 2. Fluida mampat (*compressible*)

Apabila terjadi perubahan tekanan pada proses dan akan mengalami perubahan volume, sehingga mengalami perubahan rapat massa. Jenis fluida ini adalah fluida fase gas, misalnya: udara, *steam*, dan gas lain.

Pada praktikum ini, dilakukan percobaan untuk aliran fluida cair. Apabila ditinjau dari kekentalannya, maka zat cair dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

##### 1. Fluida Newton (*Newtonian Fluid*)

Merupakan zat cair yang dalam keadaan mengalir, antara tegangan geser (*shear stress*) yang terjadi memberikan hubungan linier/garis lurus dengan deformasi kecepatan/gradien kecepatan dari pola alirannya (laju geser). Viskositas (kekentalan) fluida tetap konstan terlepas dari laju geser yang diterapkannya. Dengan kata lain, viskositas fluida tidak berubah dengan

perubahan laju geser. Yang termasuk fluida Newton adalah fluida yang kekentalannya rendah/encer, seperti air.

## 2. Fluida Non Newton (*Non Newtonian Fluid*)

Merupakan suatu zat cair yang mengalir memberikan hubungan yang tidak linier (kurva lengkung) antara tegangan geser dengan deformasi kecepatan/gradien kecepatan dari pola alirannya (laju geser). Viskositasnya berubah dengan laju geser yang diterapkan padanya, serta dapat bergantung pada faktor-faktor seperti laju geser, waktu, dan suhu. Yang termasuk fluida non Newton adalah fluida kental (pekat), seperti pasta gigi dan saus tomat.

Aliran fluida cair dalam pipa, apabila ditinjau dari kestabilan kapasitas atau debitnya, dibagi 2 jenis, yaitu:

1. Aliran dalam keadaan stabil (*steady state*), apabila debitnya selama waktu yang ditinjau adalah tetap.
2. Aliran dalam keadaan tak stabil (*unsteady state*), apabila debitnya tidak tetap/berubah.

Sedangkan tipe aliran apabila ditinjau dari olakan yang terjadi dibagi 2 jenis, yaitu:

1. Aliran laminar; bila partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang paralel, dengan kecepatan rendah sehingga tidak terjadi arus olakan.
2. Aliran turbulen; bila partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan tak teratur dengan kecepatan tinggi sehingga terjadi arus olakan.

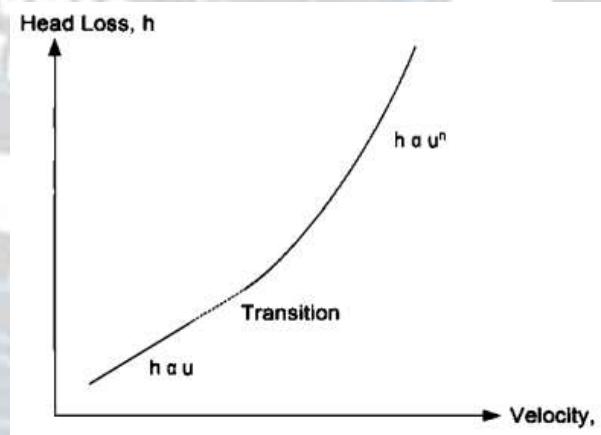
[5]

### 2.3 *Fluid Friction* pada Pipa Halus

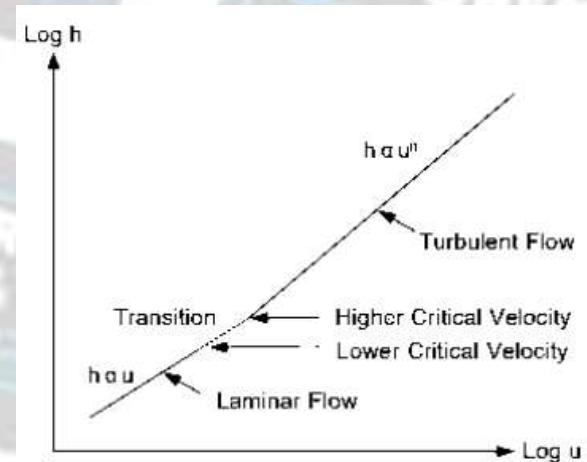
Osborne Reynolds menunjukkan bahwa dua jenis aliran mungkin ada dalam pipa.

1. Laminar pada kecepatan rendah dimana *head loss* disimbolkan dengan  $h$  serta laju alir fluida disimbolkan  $u$ .
2. Aliran turbulen pada kecepatan yang lebih tinggi.

Kedua jenis aliran ini dipisahkan oleh fase transisi di mana tidak ada hubungan yang pasti antara  $h$  dan  $u$ . Grafik  $h$  versus  $u$  dan  $\log h$  versus  $\log u$  menunjukkan zona-zona ini (Gambar 2.1 dan Gambar 2.2).



Gambar 2.1 Hubungan antara *head loss* dan laju aliran



Gambar 2.2 Hubungan antara Log u dan Log h

#### 2.4 *Head loss* karena Gesekan melalui Pipa

Untuk pipa melingkar yang mengalir penuh, *head loss* akibat gesekan ( $\text{mH}_2\text{O}$ ) dapat dihitung dari rumus:

$$h = \frac{4fLu^2}{2gd} \text{ atau } \frac{\lambda Lu^2}{2gd} \quad (2.1)$$

Dimana:

$L$  = panjang pipa antar sadapan (m) = 1 m untuk semua pipa

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$u$  = kecepatan rata-rata air melalui pipa (m/s)

$g$  = 9,81 (percepatan gravitasi,  $\text{m/s}^2$ )

$f$  = koefisien friksi pipa (British)

$4f = \lambda$  (American)

[8]

Setelah menetapkan nilai bilangan Reynolds ( $Re$ ) untuk aliran dalam pipa, nilai  $f$  dapat ditentukan dari diagram Moody.

$$Re = \frac{\rho ud}{\mu} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}\mu &= \text{molecular viscosity} \\ &= 1,15 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \text{ pada } 15^\circ\text{C} \\ \rho &= \text{densitas} \\ &= 999 \text{ kg/m}^3 \text{ pada } 15^\circ\text{C}\end{aligned}$$

[9]

## 2.5 Head loss melalui Fitting

Instalasi perpipaan terdiri dari berbagai alat kelengkapan seperti *bend*, *elbow*, *tee*, dan *valve* yang membentuk penghalang untuk mengalir. *Head loss* dalam pemasangan pipa sebanding dengan *head velocity* fluida yang mengalir melalui alat kelengkapan.

$$h = \frac{Ku^2}{2g} \quad (2.3)$$

Dimana,

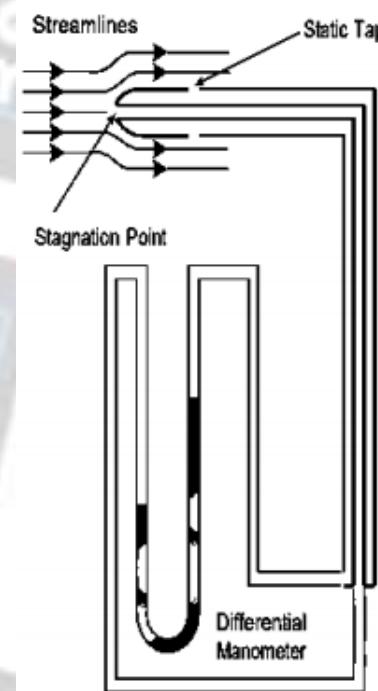
$$\begin{aligned}h &= \text{head loss diseluruh fitting (mH}_2\text{O)} \\ K &= \text{faktor fitting} \\ u &= \text{kecepatan rata rata air melalui pipa (m/s)} \\ g &= 9,81 \text{ (percepatan karena gravitasi, m/s}^2\text{)}\end{aligned}$$

[11]

## 2.6 Pengukuran Aliran menggunakan Head Differential

### 2.6.1 Pitot Static Tube

*Pitot tube* (dinamai Henri Pitot pada tahun 1732) mengukur kecepatan fluida dengan mengubah energi kinetik aliran menjadi energi potensial. Konversi terjadi pada titik stagnasi, yang terletak di pintu masuk *pitot tube* (Gambar 2.3). Tekanan yang lebih tinggi dari tekanan aliran bebas (yaitu dinamis) dihasilkan dari kinematika ke potensi konversi. Tekanan "statis" ini diukur dengan membandingkannya dengan tekanan dinamis aliran dengan manometer diferensial.



Gambar 2.3 *Tipe pitot static tube*

Untuk fluida yang tidak dapat dimampatkan, Persamaan Bernoulli menggambarkan hubungan antara kecepatan dan tekanan di sepanjang *streamline*,

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = h^* = \text{constant} \quad (2.4)$$

Dimana:

$p$  = tekanan statis fluida pada penampang

$\rho$  = kecepatan fluida yang mengalir

$g$  = percepatan karena gravitasi

$v$  = kecepatan rata-rata aliran fluida pada penampang

$z$  = pusat *elevation head* pada penampang sehubungan dengan datum

$h$  = total *head loss*

[11]

Dievaluasi pada dua titik berbeda di sepanjang *streamline*, persamaan Bernoulli menghasilkan,

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.5)$$

Jika  $z_1 = z_2$  dan titik 2 adalah titik stagnasi, yaitu,  $v_2 = 0$ , persamaan di atas berubah menjadi,

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{p_2}{\rho} \quad (2.6)$$

Oleh karena itu, kecepatan aliran dapat diperoleh,

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} \quad (2.7)$$

Atau lebih khusus lagi,

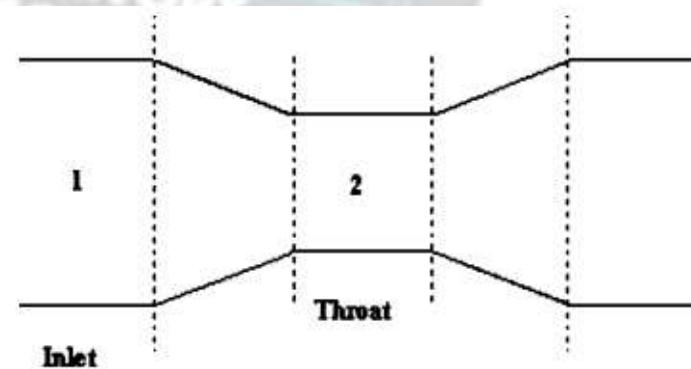
$$v = \sqrt{\frac{2(p_{\text{stagnation}} - p_{\text{static}})}{\rho}} \quad (2.8)$$

[3]; [4]

Instalasi perpipaan terdiri dari berbagai alat kelengkapan seperti *bend*, *elbow*, *tee*, dan *valve* yang membentuk penghalang untuk mengalir. Kehilangan kepala dalam pemasangan pipa sebanding dengan kecepatan kepala fluida yang mengalir melalui alat *fitting*.

#### 2.6.2 Venturi meter

Venturi meter terdiri dari tabung venturi dan pengukur tekanan diferensial. Tabung venturi memiliki bagian yang menyatu, *throat* dan bagian yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Fungsi dari bagian konvergen adalah untuk meningkatkan kecepatan fluida dan menurunkan tekanan statisnya. Perbedaan tekanan antara saluran masuk dan *throat* dengan demikian dikembangkan, yang perbedaan tekanannya berkorelasi dengan laju pelepasan. Kerucut yang menyimpang berfungsi untuk mengubah area aliran kembali ke area pintu masuk dan mengubah *head velocity* menjadi *head pressure*.



Gambar 2.4 Tabung venturi

Penggunaan persamaan kontinuitas  $Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$ , dalam Persamaan (2.5) menjadi,

$$\frac{p_1 + p_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 = \frac{V_2^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

Idealnya,

$$Q_i = A_2 V_2 = A^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[ 2g \left( \frac{p_1 + p_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

Namun, dalam kasus aliran fluida nyata, laju aliran akan diharapkan kurang dari yang diberikan oleh Persamaan (2.10) karena efek gesekan dan akibatnya *head loss* antara saluran *inlet* dan *throat*. Jadi

$$Q_a = C_d \times A_2 \times \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[ 2g \left( \frac{p_1 + p_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

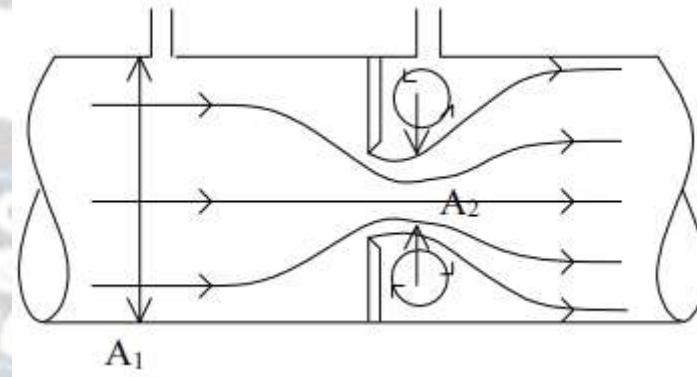
Dalam praktik pengukuran, non-idealitas ini diperhitungkan dengan penyisipan koefisien pelepasan yang ditentukan secara eksperimental, Cd yang disebut sebagai koefisien pelepasan. Dengan Z1 = Z2 dalam peralatan ini, koefisien pelepasan ditentukan sebagai berikut:

$$C_d = \frac{Q_a}{Q_1} \quad (2.12)$$

Koefisien pelepasan, Cd biasanya terletak pada kisaran antara 0,9 dan 0,99 [9].

#### 2.6.3 Orifice Plate

*Orifice* untuk digunakan sebagai alat metering dalam pipa terdiri dari lubang melingkar bermata persegi konsentris di pelat tipis, yang dijepit di antara lensa pipa seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.5 *Orifice plate*

Sambungan tekanan untuk memasang pengukur tekanan terpisah dibuat pada lubang di dinding pipa di kedua sisi pelat lubang. Keran tekanan hilir ditempatkan pada posisi tekanan minimum, yang diasumsikan berada di *vena contracta*. Bagian tengah keran tekanan masuk terletak di antara setengah dan dua diameter pipa dari sisi hulu pelat lubang; biasanya jarak satu diameter pipa digunakan. Persamaan (2.11) untuk meter venturi juga dapat diterapkan pada meteran lubang di mana *flowrate* aktual,

$$Q_a = C_d \times A_2 \times \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[ 2g \left( \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

Koefisien pelepasan, Cd dalam kasus meteran lubang akan berbeda dari itu untuk kasus meter venturi [2].

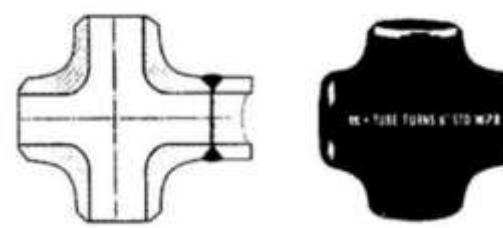
## 2.7 Fitting

Dalam sistem perpipaan, *fitting* mengacu pada komponen yang digunakan untuk menyambungkan bagian-bagian pipa, mengarahkan aliran, mengatur aliran, atau menutup ujung pipa. Selain itu, *fitting* juga memungkinkan terjadi adanya perubahan arah pada jalur perpipaan, percabangan pada pipa, dan perubahan diameter.

Komponen dalam perpipaan yang termasuk dalam kategori *fitting* adalah:

### 1. Tee

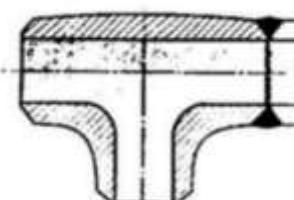
*Tee* merupakan salah satu jenis *fitting* pipa yang berfungsi sebagai penghubung antar 3 cabang pipa atau lebih. *Tee* dengan cabang 4 disebut *crossflow* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Crossflow tee

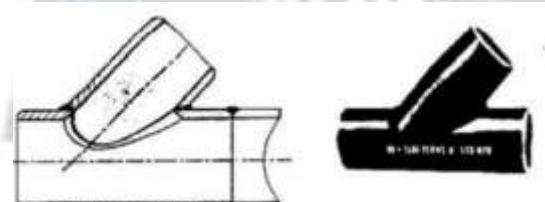
[10]

Jenis *tee* dapat dibedakan berdasarkan sudut perubahan arah, yakni *tee*  $45^\circ$  (*lateral tee*) dan  $90^\circ$ . Selain itu, berdasarkan diameter yang dihubungkan, dapat dikategorikan sebagai *equal tee* dan *reducing tee*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.7 Equal tee

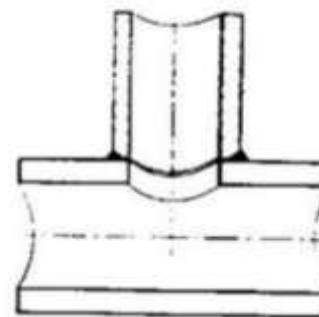
[10]



Gambar 2.8 Lateral tee

[10]

Terdapat juga jenis *tee* yang disebut *stub-in*, yang langsung disambungkan ke pipa melalui pengelasan tanpa memerlukan sambungan tambahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut

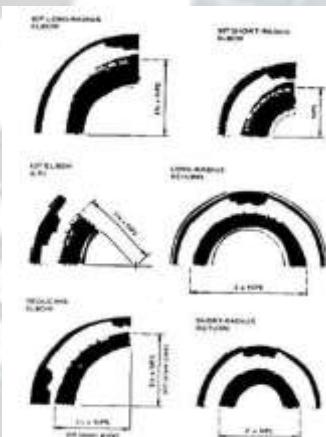


Gambar 2.9 *Stub-in tee*

[10]

### 2. Elbow

*Elbow* berfungsi untuk mengubah arah jalur pipa dan menambah fleksibilitasnya. Jenis *elbow* dapat dibedakan berdasarkan besaran sudut perubahan arahnya, seperti  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ , dan  $180^\circ$  (*U turn*) yang masing-masing tersedia dalam tipe *short radius* (SR) dan *long radius* (LR). Jenis *elbow* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Jenis-jenis *elbow*

[10]

### 3. Reducer

*Reducer* berfungsi untuk menghubungkan dua pipa dengan diameter yang berbeda. Terdapat 2 jenis *reducer*: *concentric reducer* dan *eccentric reducer*.

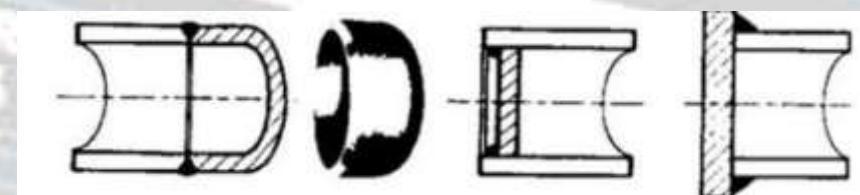


Gambar 2.11 *Concentric reducer* dan *eccentric reducer*

[10]

#### 4. Cap

*Cap* berfungsi menghentikan aliran dalam pipa ataupun menutup ujung saluran pipa. *Cap* terletak pada ujung sistem perpipaan. Jika dilihat dari bentuk dan metode penyambungannya, *cap* dapat dibedakan menjadi *butt-weld cap* dan *flat closure cap*.



Gambar 2.12 Jenis-jenis *cap*

[10]

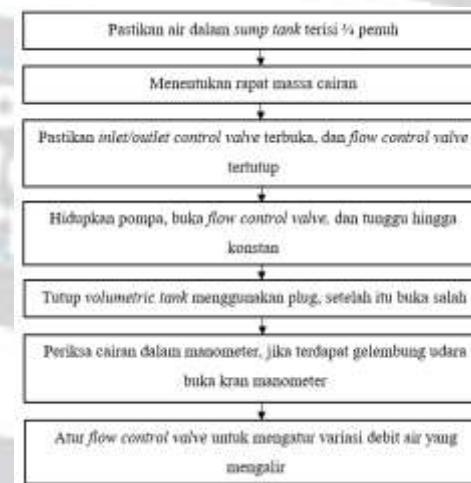
## BAB III

### METODE PERCOBAAN

#### 3.1 Rancangan Percobaan

##### 3.1.1 Rancangan Praktikum

1. Alat yang digunakan adalah sistem pengaliran fluida cair (air) secara tertutup, melalui sistem perpipaan yang terdiri dari pipa lurus, *fitting*, dan pompa.
2. Sistem perpipaan dilengkapi dengan sistem *recycle* yang dimaksudkan agar kerja pompa stabil.
3. Sistem juga dilengkapi dengan kran-kran yang digunakan untuk mengatur debit yang selanjutnya atau digunakan untuk menghitung laju alir dan bilangan *Reynold*.
4. Dipasang manometer untuk mengetahui besarnya hilang tekan pada pipa lurus maupun *fitting* pada setiap harga bilangan *Reynold* yang divariasi.
5. Menghitung faktor friksi pada pipa lurus dan panjang ekivalensi pada *fitting*.



Gambar 3.1 Skema rancangan praktikum

##### 3.1.2 Penetapan Variabel

1. Variabel Berubah:
  - Jenis Pipa
  - Jenis *Fitting*
  - *Gate Valve*

- Laju alir (L/min)

## 2. Variabel Terikat :

- Head loss yang terbaca pada *pressure transmitter* dan beda ketinggian manometer

### 3.2 Bahan dan Alat Percobaan

#### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan adalah *aquadest*.

#### 3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam percobaan aliran fluida, dibagi dalam 2 bagian, yaitu:

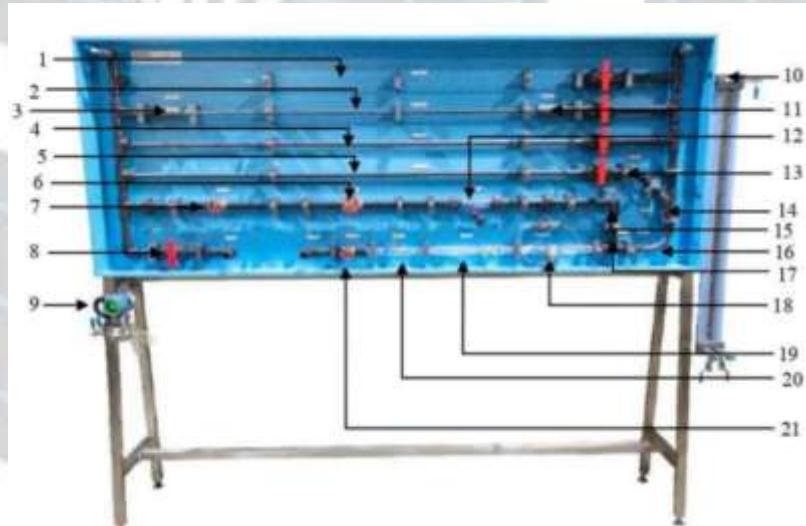
- Rangkaian alat utama, yang terdiri dari:

1. Tangki
2. Pompa
3. Sistem perpipaan yang terdiri dari: pipa lurus, sambungan, bengkokkan, kran, pembesaran, pengecilan.
4. Manometer dengan media pengukur air.

- b. Peralatan pembantu, yang terdiri dari:

1. *Picnometer* untuk menentukan rapat massa.
2. *Stopwatch* untuk mengukur waktu.

### 3.3 Gambar Rangkaian Alat



Gambar 3.2 Rangkaian alat percobaan (*fluid friction measurement apparatus FM 100*)

Keterangan gambar:

- |                         |                            |                          |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. 7.5 mm smooth pipe   | 10. <i>Inline Strainer</i> | 19. Manometer            |
| 2. 10 mm smooth pipe    | 11. 45° Elbow              | 20. Sudden Enlargement   |
| 3. Sudden construction  | 12. 45° Y                  | 21. Outlet Control Valve |
| 4. 17 mm smooth pipe    | 13. 90° Elbow              |                          |
| 5. 17 mm roughened pipe | 14. 90° Y                  |                          |
| 6. Global Valve         | 15. 90° T                  |                          |
| 7. Gate Valve           | 16. Pitot Static Tube      |                          |
| 8. Inlet control valve  | 17. Orifice Meter          |                          |
| 9. Pressure Transmitter | 18. Venturi Meter          |                          |



Gambar 3.3 Rangkaian alat percobaan (*fluid friction measurement apparatus FM 110*)

Keterangan gambar:

- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Open channel       | 7. Volumetric tank        |
| 2. Working bench      | 8. Level sight tube       |
| 3. Main switch        | 9. Sump tank              |
| 4. Flow control valve | 10. Drain valve           |
| 5. Centrifugal pump   | 11. Lockable castor wheel |
| 6. Plug               |                           |

### 3.4 Prosedur Praktikum

Cara kerja percobaan dapat dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

A. Tahap Persiapan

1. Pastikan air dalam *Sump Tank* terisi  $\frac{3}{4}$  penuh.
2. Penentuan rapat massa cairan yang akan digunakan untuk percobaan.
3. Pastikan *inlet control valve* dan *outlet control valve* terbuka.
4. Pastikan *flow control valve* tertutup.

B. Tahap Operasi

1. Hidupkan pompa, buka *flow control valve*, dan tunggu hingga konstan.
2. Tutup *volumetric tank* menggunakan *plug*.
3. Buka salah satu kran (sesuai variabel), kemudian hitung *flowrate*.
4. Periksa cairan dalam manometer, jika ada gelembung udara buka kran manometer.
5. Atur *flow control valve* untuk mengatur variasi debit air yang mengalir pada sistem pemipaan dan hitung bilangan *Reynold*-nya.
6. Ulangi langkah nomor 2 dengan bukaan *flow control valve* yang berbeda (hingga mendapatkan variasi *Reynold* aliran laminar, transisi, turbulen).
7. Catat pembacaan manometer sesuai *variable* yang diberikan.
8. Buat tabel hasil percobaan (debit, R sesuai *variable*).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bachrun, R., Pallu, M. S., Thaha, M. A., & Bakri, B. (2021). The effect of discharge on *head loss* with straight and bend flow directions in the pipeline. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 841(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/841/1/012017>
- [2] Bansal, R. K. (2010). *A Text Book of Fluid Mechanics and Hydraulic Machines* (Revised 9th ed). New Delhi: Laxmi Publication (P) Ltd.
- [3] Beck, B. T., Payne, G., & Heitman, T. (2010). The aerodynamics of the pitot-static tube and its current role in non-ideal engineering applications. *American Society for Engineering Education*, <https://doi.org/15.1204.1-15.1204.16>.
- [4] Cimbala, J. M., & Cengel, Y. A. (2004). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (4th ed.). New York: Mc Graw Hill Book Co.
- [5] Ghurri, A. (2014). *Dasar-Dasar Mekanika Fluida*. Teknik Mesin: Universitas Udayana.
- [6] Rodgers, T. (2013). *Fluid Flow*. Department of Chemical Engineering, University of Manchester, United Kingdom, 1-81.
- [7] Geankoplis, C.J. (1993). *Transport Process and Unit Operation* (3rd ed.). Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [8] Giles, Ronald. (1997). *Fluid Mechanics and Hydraulic* (2nd ed.). New York: McGraw Hill Book Co.
- [9] Hariyono, Rubiono, G., dan Mujitano, H. (2016). Studi eksperimental perilaku aliran fluida pada sambungan belokan pipa. *Jurnal Prodi Teknik Mesin*, 1(1), 12-17.
- [10] Sherwood, D.R. (1973). *The PIPING GUIDE FOR THE DESIGN AND DRAFTING OF INDUSTRIAL PIPING SYSTEMS* (2nd ed.). Syentek Inc.
- [11] Zainudin, Z., Sayoga, I. M. A., & Nuarsa, M. (2012). Analisa pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap *head losses* aliran pipa. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2), 127-132.