

Pengaruh Variasi Bukaannya Terhadap Rugi Mayor Dan Rugi Minor Pada Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipa

Agus Setiawan Wibowo^{1*}, dan Muhamad Fitri¹.

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

*e-mail: bowo9230@gmail.com

ABSTRAK

Pipa merupakan komponen yang banyak digunakan untuk pendistribusian fluida dan dipilih karena banyak jenis, bentuk serta ukurannya. Fluida yang dialirkan menentukan jenis dan bentuk dari instalasi pemipaan serta pendistribusiannya sering menggunakan sambungan pipa (*fittings*), pipa lengkung (*elbow*), maupun *flange*. Penggunaan sambungan akan menimbulkan permasalahan kompleks pada instalasi pipa yaitu rugi-rugi aliran dalam pipa yang berupa rugi-rugi mayor maupun minor. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian alat uji rugi-rugi aliran dalam pipa pada pipa lurus jenis PVC, *Galvanise*, *Stainless* dan komponen pipa seperti *elbow*, *reducer*, dan *valve* untuk menghitung terjadinya penurunan tekanan, rugi mayor, dan minor. Pengujian dilakukan dengan mengukur tekanan yang masuk dan keluar menggunakan *pressure gauge* dengan variasi bukaannya katup 1/3, 2/3 dan 3/3. Setelah dilakukan pengujian kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui berapa penurunan tekanan, rugi mayor dan rugi minor. Diharapkan penurunan tekanan terbesar pipa *Galvanized steel* 3236 Pa, pipa *Stainless Steel* 3138 Pa dan pipa PVC sebesar 2157 Pa. Pada *Elbow 45°* sebesar 981 Pa dan 4903 Pa untuk *Elbow 90°*. Kemudian rugi mayor terbesar pipa *Galvanized steel* sebesar 0,33 m, pipa *Stainless Steel* 0,32 m dan pipa PVC sebesar 0,22 m dan rugi minor terbesar *Elbow 45°* sebesar 0,10 m dan 0,50 m untuk *Elbow 90°*. Sehingga, semakin besar bukaannya katup maka semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan.

Kata kunci : Penurunan tekanan, *major losses*, *minor losses*, pipa.

ABSTRACT

Pipes are components that are widely used for fluid distribution and are widely chosen because of their many types, shapes and sizes. The flowing fluid determines the type and shape of the piping installation and its distribution, often using fittings, elbows, or flanges. The use of joints will cause complex problems in pipe installation, namely flow losses in the pipe in the form of major and minor losses. The research was carried out by testing pipe flow loss tools on straight pipes of PVC, Galvanized, stainless type and pipe components such as elbows, reducers, and valves to calculate the occurrence of pressure drops, major and minor losses. The test is carried out by measuring the incoming and outgoing pressure using a pressure gauge with variations in valve openings of 1/3, 2/3 and 3/3. After testing, it is then calculated to find out how much the pressure drop, major loss and minor loss are. The biggest pressure drop was 3236 Pa Galvanized steel pipes, 3138 Pa Stainless Steel pipes and 2157 Pa PVC pipes. At Elbow 45° it is 981 Pa and 4903 Pa for Elbow 90°. Then the biggest major loss for Galvanized steel pipe is 0,33 m, Stainless Steel pipe is 0,32 m and PVC pipe is 0,22 m and the biggest minor loss for Elbow 45° is 0,10 m and 0,50 m for Elbow 90°. So, the larger the valve opening, the greater the losses generated.

Keywords : Pressure drop, *major losses*, *minor losses*, pipes.

PENDAHULUAN

Di dunia industri, pipa merupakan komponen yang banyak digunakan untuk pendistribusian fluida seperti air, oli, dan fluida lainnya dalam membantu proses produksi. Pipa merupakan sarana pendistribusian fluida yang relatif murah dan banyak jenis, bentuk serta ukurannya. Ada yang terbuat dari plastik, baja, PVC, kuningan, tembaga dan sebagainya (Septian, 2019; Akmal

and Za, 2019). Fluida yang dialirkan menentukan jenis dan bentuk dari instalasi pemipaan yang dibutuhkan. Secara umum fluida yang digunakan adalah air dan gas. Kondisi geografis pun ikut serta menjadi faktor dalam jaringan pemipaan yang dibuat, sehingga dalam pendistribusian jaringan pipa sering menggunakan sambungan pipa (*fittings*), pipa lengkung (*elbow*), maupun *flange* (Hayati, Purwanto, and Muladi 2021).

Pada umumnya penggunaan belokan pipa dapat menyebabkan terjadinya *pressure drop*. *Pressure drop* pada belokan pipa lebih besar dibandingkan pipa lurus. Hal ini disebabkan adanya perubahan geometri dan lintasan aliran fluida. Akibatnya muncul pola aliran terpisah yang berdampak pada penurunan tekanan yang tinggi (Nugraha 2014), sebab itu juga akan mempengaruhi dari kinerja pompa (Basri and Fitri 2021). Penurunan tekanan juga dipengaruhi oleh bentuk geometri komponen pipa, kekasaran penampang pipa, jenis dan juga jumlah pipa yang digunakan (Sepfitrah and Rizal 2013) dan pengaruh laju aliran. Semakin besar laju alirnya maka semakin besar pula penurunan tekanannya. Penyebab terjadinya penurunan tekanan ini karena adanya *head loss* yaitu rugi - rugi aliran. *Head loss* terdiri dari dua macam, yaitu *head loss major* dan *head loss minor*. *Head loss major* terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida yang mengalir dengan dinding permukaan dalam pipa sedangkan *head loss minor* terjadi karena adanya sambungan pipa (*fittings*) seperti pada belokan pipa, yaitu *knee*, *elbow*, dan *mitter* (Hayati, 2021; Wibowo, Sobarudin, and Fitri, 2022).

Alat uji rugi-rugi aliran merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kerugian-kerugian aliran ataupun kehilangan energi yang terjadi di dalam spipa, baik itu penurunan tekanan, kerugian mayor ataupun kerugian minor. Alat ini dirancang dari pipa lurus jenis PVC, *Galvanise*, *Stainless* dan komponen pipa seperti *elbow*, *reducer*, dan *valve*.

Alat uji rugi-rugi aliran sudah dibuat dan berada pada laboratorium teknik mesin, universitas Mercubuana digunakan sebagai objek penelitian. Pada alat ini terpasang komponen-komponen pemipaan yang biasa diaplikasikan di industri maupun rumah tangga. Alat uji rugi-rugi aliran ini belum diuji kesamaan hasil pengukuran alat dengan teori. Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan dilakukan analisis rugi mayor dan rugi minor pada alat uji rugi – rugi aliran pipa dengan cara mengukur tekanan yang masuk dan keluar pada alat praktikum yang dimaksudkan untuk membuktikan bahwa pada instalasi pipa terjadi rugi – rugi aliran.

Aliran Fluida Dalam Pipa

Menurut Hukum Reynolds aliran terdiri dari aliran lancar (*steady*) atau aliran laminar dan

aliran bergejolak (berfluktuasi) atau aliran Tubulen. Antara aliran laminar dengan turbulen disebut aliran transisi (Gusfito Riantama, Ir. Kaidir, M. Eng, Rizky Arman. 2022).

a) Aliran Laminar

Aliran laminar adalah jenis aliran fluida di mana fluida mengalir dengan lancar. Dalam aliran laminar, kecepatan, tekanan dan sifat aliran lainnya pada setiap titik dalam fluida tetap konstan. Pergerakan partikel fluida sangat teratur dengan semua partikel bergerak lurus sejajar dengan dinding pipa. (Gusfito Riantama, Ir. Kaidir, M. Eng, Rizky Arman. 2022).

b) Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah jenis aliran di mana fluida bergerak secara acak dengan cara yang tidak teratur. Aliran ini bersifat turbulen dan kacau balau, aliran ini ditandai dengan adanya pusaran-pusaran air kecil dan gelombang. Pada aliran turbulen, kecepatan fluida pada suatu titik terus menerus mengalami perubahan baik besar maupun arahnya. (Gusfito Riantama, Ir. Kaidir, M. Eng, Rizky Arman. 2022).

Persamaan Bernauli

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. Secara matematis persamaan bernauli adalah sebagai berikut (Sayoga and Nuarsa 2012).

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H \dots\dots(1)$$

Dimana :

- p_1, p_2 = tekanan di penampang 1 dan 2 (N/m²)
- v_1, v_2 = kecepatan di penampang 1 dan 2 (m/s²)
- z_1, z_2 = tinggi pada permukaan 1 dan 2 (m)
- γ = berat jenis 1 dan 2 (N/m³)
- g = gravitasi bumi (9,82 m/s²)

Penurunan Tekanan (*Pressure Drop*)

Pressure drop adalah beda tekanan antara dua titik maupun ketinggian yang berbeda dalam suatu fluida, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Sepfitrah and Rizal 2013):

$$(\Delta P) = \rho \cdot g \cdot (\Delta h) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- ΔP = Pressure drop (N/m²)
- ρ = Massa jenis fluida (Kg/m³)
- g = Gravitasi (m/s²)
- Δh = Selisih ketinggian pada pressure gauge (head loss)

Kerugian Dalam Pipa

Kerugian ini diklasifikasi menjadi 2 yaitu kerugian mayor (*major losses*) dan kerugian minor (*minor losses*) (Putra and Galsha 2017).

A. Rugi Mayor (*Major Losses*)

Rugi mayor dapat terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida dengan permukaan dinding pipa. Untuk dapat menghitung *major losses*, perlu diketahui jenis aliran fluida yang mengalir dan juga nilai *friction factor*. Jenis aliran dapat diketahui melalui bilangan Reynolds. Nilai *friction factor* dapat diketahui dengan diagram Moody. .

- Persamaan Hazen-Williams

Untuk menghitung kehilangan energi (*head loss*) pengaliran air pada pipa, dapat menggunakan persamaan Hazen Williams (Fadhly Mujahid 2021) :

$$H_L = 10.67 \left[\frac{Q^{1.85} \times L}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- Q = Debit (m³/s)
- C = Koefisien Hazen William
- D = Diameter pipa (m)
- H_L = Rugi mayor (m)
- L = Panjang pipa (m)

Adapun koefisien dari Hazen William dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Koefisien Hazen William (Fadhly Mujahid 2021)

NO	MATERIAL PIPA	Nilai C
1	PVC	150
2	Brass Tube	130
3	Galvanized Tubing	120
4	Kayu, beton	120
5	Lempung, lining baja baru	110
6	Steel Pipe	120
7	Besi cetak terkorosi	80
8	Kuningan	140

B. Rugi Minor (*Minor Losses*)

Kerugian Minor (*minor losses*) terjadi karena adanya sambungan pipa (*fitting*) seperti katup (*valve*), belokan (*elbow*), pembesaran pipa (*enlargement*), pengecilan pipa (*contraction*), dan sebagainya.

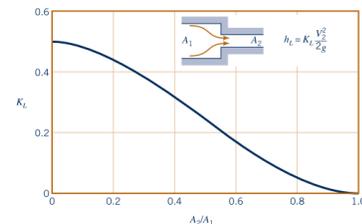
- Perhitungan rugi minor dengan menggunakan Koefisien *Losses* dapat dihitung dengan rumus (Song 2018) :

$$H_m = K_L \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(4)$$

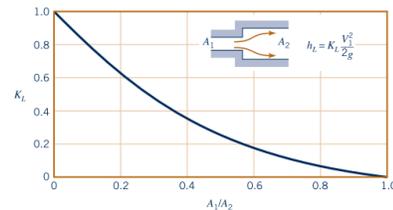
Keterangan

- H_m = Rugi minor (m)
- K_L = Koefisien kerugian
- v = Laju aliran (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Sudden enlargement adalah kondisi ketika fluida mengalir dari pipa kecil ke pipa yang lebih besar melalui ekspansi mendadak, kecepatannya tiba-tiba menurun, sehingga menghasilkan *minor losses* yang besar. *Head loss* pada kondisi ini adalah karena turbulen, tergantung dari besarnya perbedaan diameter pipa. Adapun untuk mencari nilai K_L menggunakan grafik *loss coefficient* sebagai berikut:



Gambar 1. Loss coefficient for a sudden contraction (Munson et al. 2013)



Gambar 2. Loss coefficient for a sudden expansion (Munson et al. 2013)

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang dilakukan yaitu pada alat praktikum uji rugi-rugi aliran yang berada di laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercubuana.

Metode Pengambilan Data

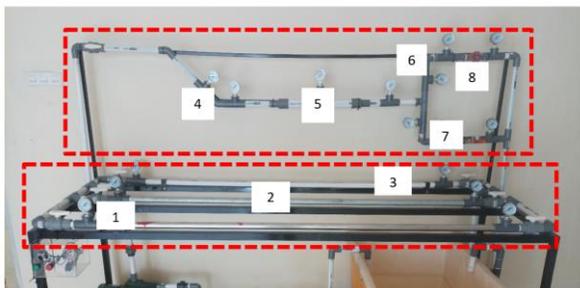
Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu penelitian eksperimental. Metode ini dilakukan dengan melakukan percobaan terhadap alat uji praktikum. dengan penelitian yang dilakukan. Tahap Pengujian. Tahap pengujian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu tahap pertama pengujian *Mayor Losses* (pengujian kerugian pada pipa lurus tipe PVC, Galvanis, dan Stainless) dan tahap kedua pengujian *Minor losses* (pengujian kerugian pada sambungan pipa seperti Elbow, reducer, valve, dan lainnya) dengan variasi bukaan katup 1/3, 2/3, dan 3/3.

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan yang akan digunakan pada pengujian.
2. Periksa alat uji rugi aliran layak atau tidak dioperasikan.
3. Pastikan alat pengambil data sudah terpasang dengan benar pada titik-titik pengambilan data yang sudah ditentukan.
4. Ukur dimensi pipa yang akan diuji. Buka katup pertama (pengujian pipa lurus) dengan urutan variasi 1/3, 2/3, dan 3/3.
5. Nyalakan pompa dan biarkan air bersirkulasi beberapa saat.
6. Kemudian catat tekanan pada saat air masuk melewati pressure gauge 1 dan tekanan pada saat air keluar melewati pressure gauge 2., dan debit yang keluar.
7. Lakukan pengujian pada pipa lurus yang lain dan sambungan pipa untuk mengetahui tekanannya.
8. Setelah selesai melakukan pengujian, matikan pompa.

Komponen Alat

Adapun komponen alat rugi-rugi aliran yang akan diuji sebagai berikut:



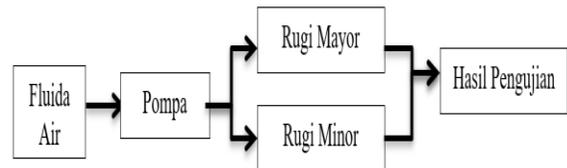
Gambar 3. Alat uji praktikum rugi-rugi aliran dalam pipa

Keterangan :

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
1.	Pipa PVC	1	Diameter 1” dan Panjang 2 m
2.	Pipa Galvanise	1	Diameter 1” dan Panjang 2 m
3.	Pipa Stainless	1	Diameter 1” dan Panjang 2 m
4.	Elbow 90 ⁰	1	Diameter 1”
5.	Elbow 45 ⁰	1	Diameter 1”
6.	Reducer	1	Diameter 1 ½”
7.	Ball valve	1	Diameter 1”
8.	Gate valve	1	Diameter 1”

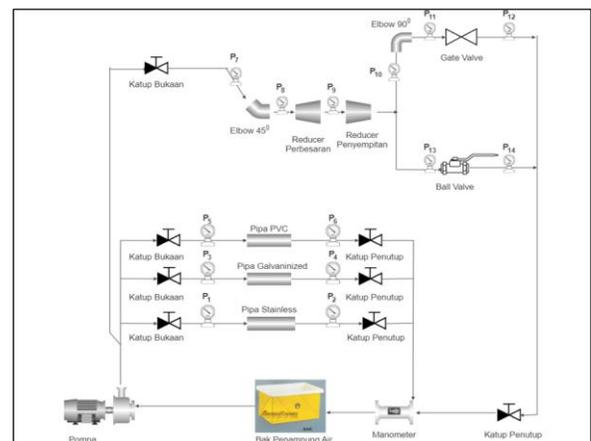
Skema Fungsi dan Wiring Diagram Alat

Skema fungsi menunjukkan urutan-urutan yang terjadi pada alat uji rugi-rugi aliran dalam pipa yang telah dibuat. Skema ini menggambarkan secara umum hubungan antara input dan output yang diilustrasikan pada diagram dibawah ini.



Gambar 4. Skema fungsi alat

Untuk memperjelas skema fungsi di atas, Gambar 5 menjelaskan skema wiring diagram dari alat uji praktikum fluida dari bak penampungan menuju ke pompa, kemudian melalui sistem pengujian yaitu pada pipa lurus dan komponen – komponen pipa dan berakhir kembali ke bak penampungan air.



Gambar 5. Wiring diagram alat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pipa Stainless Steel

Data hasil pengujian tekanan masuk (Pin), tekanan keluar (Pout) dan debit aliran pada pengujian pipa *Stainless Steel* variasi bukaan katup $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$.

Tabel 2. Data hasil pengujian tekanan pada pipa *stainless steel*

Bukaan Katup	P _{in} (Pascal)	P _{out} (Pascal)	Pressure	
			Drop (ΔP) (Pascal)	Debit (m ³ /s)
$\frac{1}{3}$	29420	27851	1569	0,00051
$\frac{2}{3}$	64724	61978	2746	0,00072
$\frac{3}{3}$	68647	65508	3138	0,00077

- Menghitung Rugi Mayor Aktual
Dimana diketahui bahwa pada pipa lurus Z1 = Z2, dan V1=V2, dihitung menggunakan persamaan 1 maka diperoleh rugi mayor aktual sebesar (H_L)= 0,16 m.

Diketahui nilai diameter pipa 1'' (0,0254 m) dan Q = 0,00051 m³/s.

- Menghitung luas penampang pipa aliran, sehingga diperoleh 0,000506 m².
- Menghitung kecepatan air yang dapat melaju, diperoleh kecepatan sebesar 1,01 m/s.
- Bilangan *Reynolds* (Re) :

$Re = \frac{vD}{\nu}$ (nilai viskositas kinematik air pada suhu 30⁰ C adalah 0,804 × 10⁻⁶ m²/s)

$Re = 32035$ (Nilai $Re > 4000 =$ Aliran Turbulen)

Dengan melakukan langkah perhitungan yang sama untuk bukaan katup $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$, maka diperoleh nilai rugi mayor dan bilangan *Reynolds* sbb:

Tabel 3. Nilai rugi mayor dan bil. *Reynolds* pipa *stainless steel*

Bukaan Katup	Rugi Mayor (H _L)	Bil. <i>Reynolds</i>	Jenis Aliran
$\frac{1}{3}$	0,16	32035	<i>Turbulent</i>
$\frac{2}{3}$	0,28	45022	<i>Turbulent</i>
$\frac{3}{3}$	0,32	48053	<i>Turbulent</i>

- Menghitung Rugi Mayor Secara Teori

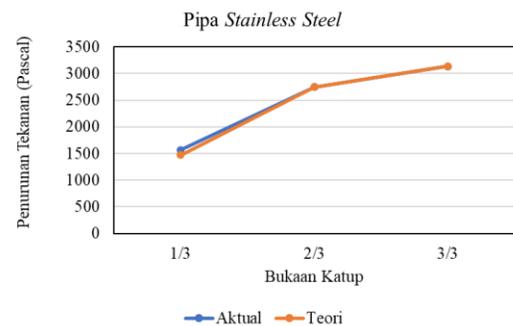
Berdasarkan tabel 1 nilai C pipa *Stainless Steel* adalah 120, maka diperoleh nilai rugi mayor sebesar 0,15 m. Adapun penurunan tekanan yang terjadi pada pipa *Stainless Steel*, yaitu sebesar $\Delta P = 1470 Pa$

Dengan melakukan langkah perhitungan menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk bukaan katup $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$, maka diperoleh nilai rugi mayor dan penurunan tekanan secara teori sbb:

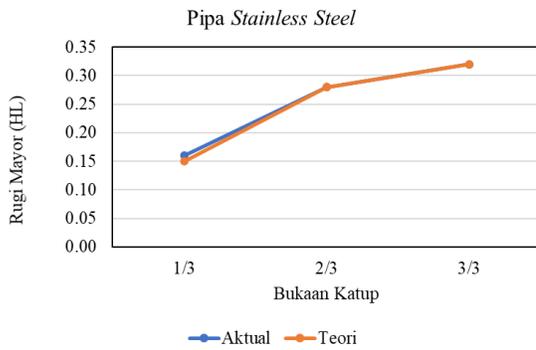
Tabel 4. Nilai rugi mayor dan penurunan tekanan secara teori pipa *stainless steel*

Nama Komponen	Bukaan Katup	(ΔP) (Pascal)	Rugi Mayor (H _L)
Pipa <i>Stainless Steel</i>	$\frac{1}{3}$	1470	0,15
	$\frac{2}{3}$	2744	0,27
	$\frac{3}{3}$	3136	0,31

- Hubungan Variasi Bukaan Katup Terhadap Penurunan Tekanan dan Rugi Mayor pada Pipa *Stainless Steel*



Gambar 6. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan pipa *stainless steel*



Gambar 7. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap rugi mayor pipa stainless steel

Pada gambar 6 dan 7 menunjukkan grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan dan rugi mayor secara aktual dan perhitungan teori. Hasil penelitian menyatakan semakin besar variasi bukaan katup maka semakin besar penurunan tekanan dan rugi mayor yang terjadi. Besarnya nilai rugi mayor ini dipengaruhi oleh debit aliran yang mengalir. Semakin besar bukaan katup menyebabkan debit aliran semakin besar juga. Nilai penurunan tekanan dan rugi mayor pada pipa *Stainless Steel* terbesar terjadi pada bukaan katup $\frac{3}{3}$ (bukaan penuh). Penurunan tekanan aktual sebesar 3138 Pa dan secara teori sebesar 3136 Pa. Besarnya nilai penurunan tekanan aktual ini mendekati dengan nilai perhitungan secara teori, selisihnya hanya sebesar 0,1%. Sedangkan nilai rugi mayor aktual sebesar 0,32 m dan secara teori sebesar 0,31 m, nilainya mendekati hanya terdapat selisih 0,01 m. Adapun aliran yang terjadi pada pipa *Stainless Steel* adalah aliran turbulen, karena besar nilai bilangan *Reynolds* > 4000.

Pipa Galvanized Steel

Data hasil pengujian pipa *Galvanized Steel* variasi bukaan katup $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$. sbb:

Tabel 5. Data hasil pengujian tekanan pada pipa galvanized steel

Bukaan Katup	P _{in} (Pascal)	P _{out} (Pascal)	Pressure	
			Drop (ΔP) (Pascal)	Debit (m ³ /s)
$\frac{1}{3}$	29420	27753	1667	0,00052

2 3 3 3	63253	60311	2942	0,00074
	66685	63449	3236	0,00078

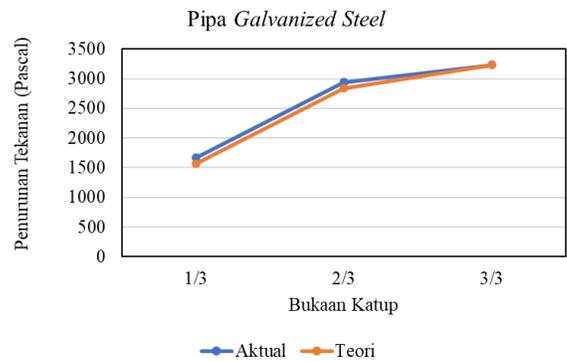
Tabel 6. Nilai rugi mayor aktual dan bil. Reynolds pipa galvanized steel

Nama Komponen	Bukaan Katup	Rugi Mayor (H _L)	Bil. Reynolds	Jenis Aliran
Pipa Galvanized Steel	1 3 2 3 3 3	0,17	32468	Turbulent
	2	0,30	45888	Turbulent
	3	0,33	48919	Turbulent

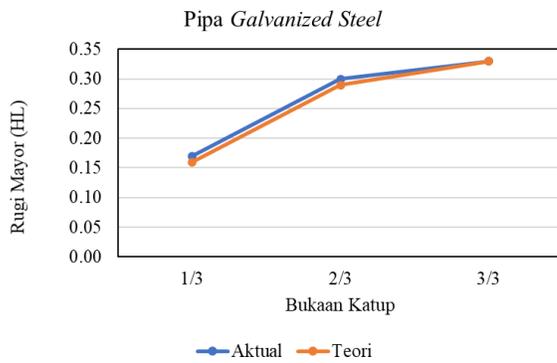
Tabel 7. Nilai rugi mayor dan penurunan tekanan secara teori pipa galvanized steel

Nama Komponen	Bukaan Katup	(ΔP) (Pascal)	Rugi Mayor (H _L)
Pipa Galvanized Steel	1 3 2 3 3 3	1568	0,15
	2	2842	0,28
	3	3234	0,32

- Hubungan Variasi Bukaan Katup Terhadap Penurunan Tekanan dan Rugi Mayor pada Pipa Galvanized Steel



Gambar 8. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan pipa galvanized steel



Gambar 9. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap rugi mayor pipa galvanized steel

Pada gambar 8 dan 9 menunjukkan grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan dan rugi mayor secara aktual dan perhitungan teori. Hasil penelitian menyatakan semakin besar variasi bukaan katup maka semakin besar penurunan tekanan dan rugi mayor yang terjadi. Pada pipa *Galvanized Steel* besarnya nilai rugi mayor ini dipengaruhi oleh debit aliran yang mengalir, semakin besar bukaan katup debit aliran semakin besar juga.

Untuk nilai penurunan tekanan berbanding lurus dengan nilai rugi mayor yang terjadi. Nilai penurunan tekanan dan rugi mayor pada pipa *Galvanized Steel* terbesar terjadi pada bukaan katup $\frac{3}{3}$ (bukaan penuh). Penurunan tekanan aktual sebesar 3236 Pa dan secara teori sebesar 3234 Pa. Besarnya nilai penurunan tekanan aktual ini mendekati dengan nilai perhitungan secara teori, selisihnya hanya sebesar 0,1%. Sedangkan nilai rugi mayor aktual sebesar 0,33 m dan secara teori sebesar 0,32 m, nilainya mendekati hanya terdapat selisih 0,01 m. Jika dibandingkan dengan nilai rugi mayor yang terjadi pada pipa *Stainless Steel*, nilai rugi mayor pada pipa *Galvanized Steel* lebih besar. Salah satu faktor yang menyebabkan adalah nilai kekasaran pipa.

Nilai kekasaran pipa *Galvanized Steel* yaitu 0,15 mm, lebih besar nilainya dibandingkan pipa *Stainless Steel* yaitu 0,002 mm. Semakin kasar permukaan pipa, maka gesekan yang terjadi akan semakin besar. Nilai gesekan inilah yang menyebabkan adanya kehilangan energi pada pipa. Adapun aliran yang terjadi pada pipa *Galvanized Steel* adalah aliran turbulen, karena besar nilai bilangan *Reynolds* > 4000.

Pipa PVC

Data hasil pengujian pipa PVC variasi bukaan katup $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$ sbb:

Tabel 8. Data hasil pengujian tekanan pada pipa PVC

Bukaan Katup	P _{in} (Pascal)	P _{out} (Pascal)	Pressure	
			Drop (ΔP) (Pascal)	Debit (m ³ /s)
$\frac{1}{3}$	29420	28439	981	0,00051
$\frac{2}{3}$	64724	62763	1961	0,00074
$\frac{3}{3}$	68647	66489	2157	0,00077

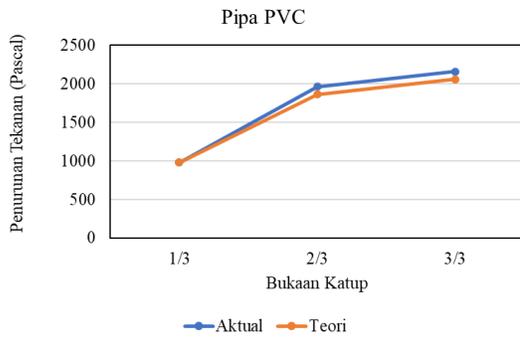
Tabel 9. Nilai rugi mayor aktual dan bil. Reynolds pipa PVC

Nama Komponen	Bukaan Katup	Rugi Mayor (H _L)	Bil. Reynolds	Jenis Aliran
Pipa PVC	$\frac{1}{3}$	0,10	32035	Turbulent
	$\frac{2}{3}$	0,20	45888	Turbulent
	$\frac{3}{3}$	0,22	48053	Turbulent

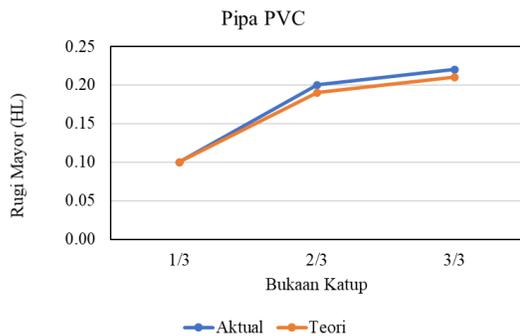
Tabel 10. Nilai rugi mayor dan penurunan tekanan secara teori pipa PVC

Nama Komponen	Bukaan Katup	(ΔP) (Pascal)	Rugi Mayor (H _L)
Pipa PVC	$\frac{1}{3}$	980	0,10
	$\frac{2}{3}$	1862	0,19
	$\frac{3}{3}$	2058	0,21

- Hubungan Variasi Bukaan Katup Terhadap Penurunan Tekanan dan Rugi Mayor pada Pipa PVC



Gambar 10. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan pipa PVC



Gambar 11. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap rugi mayor pipa PVC

Pada gambar 10 dan 11 menunjukkan grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan dan rugi mayor secara aktual dan perhitungan teori. Hasil penelitian menyatakan semakin besar variasi bukaan katup maka semakin besar penurunan tekanan dan rugi mayor yang terjadi. Pada pipa PVC besarnya nilai rugi mayor ini dipengaruhi oleh debit aliran yang mengalir, semakin besar bukaan katup fluida yang masuk semakin besar yang menyebabkan debit aliran semakin besar juga.

Nilai penurunan tekanan dan rugi mayor pada pipa PVC terbesar terjadi pada bukaan katup $\frac{3}{3}$ (bukaan penuh). Penurunan tekanan aktual sebesar 2157 Pa dan secara teori sebesar 2058 Pa. Besarnya nilai penurunan tekanan aktual ini mendekati dengan nilai perhitungan secara teori, selisihnya sebesar 4,6%, dapat disebabkan karena faktor pembacaan hasil pengukuran (kesalahan paralaks). Sedangkan nilai rugi mayor aktual sebesar 0,22 m dan secara teori sebesar 0,21 m, nilainya mendekati hanya terdapat selisih 0,01 m. Jika dibandingkan dengan nilai rugi mayor yang terjadi pada pipa

Stainless Steel dan pipa *Galvanized Steel*, nilai rugi mayor pada pipa PVC lebih kecil.

Salah satu faktor yang menyebabkan adalah nilai kekasaran pipa PVC. Nilai kekasaran pipa *Galvanized Steel* yaitu 0,15 mm, pipa *Stainless Steel* yaitu 0,002 mm, sedangkan pipa PVC lebih kecil nilainya yaitu 0,0015 mm. Semakin kasar permukaan pipa, maka gesekan yang terjadi akan semakin besar. Nilai gesekan inilah yang menyebabkan adanya kehilangan energi pada pipa dan inilah yang membuat rugi aliran pada pipa PVC lebih kecil dibandingkan dengan pipa *Stainless Steel* dan pipa *Galvanized Steel*. Adapun aliran yang terjadi pada pipa PVC adalah aliran turbulen, karena besar nilai bilangan *Reynolds* > 4000.

Elbow 45° dan Elbow 90°

Data hasil pengujian pipa *elbow* bukaan katup $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$ sbb:

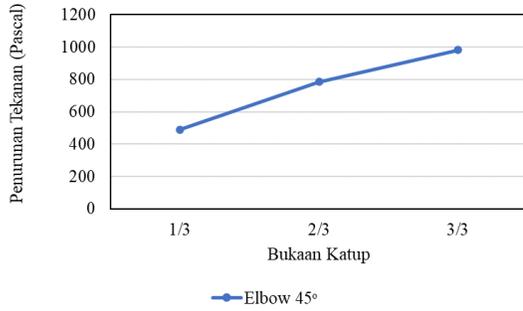
Tabel 11. Data hasil pengujian tekanan pada *elbow* 45°

Bukaan Katup	P _{in} (Pascal)	P _{out} (Pascal)	Pressure Drop (ΔP) (Pascal)	Debit (m ³ /s)
1/3	34323	33833	490	0,00058
2/3	59821	59036	785	0,00070
3/3	61782	60801	981	0,00080

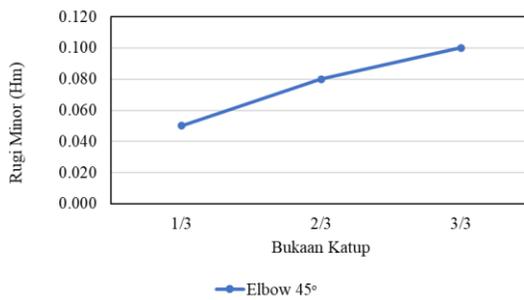
Tabel 12. Nilai rugi minor dan bil. *Reynolds* *elbow* 45°

Nama Komponen	Bukaan Katup	Rugi Minor (H _L)	Bil. <i>Reynolds</i>	Jenis Aliran
<i>Elbow</i> 45°	1/3	0,050	35931	<i>Turbulent</i>
	2/3	0,080	43724	<i>Turbulent</i>
	3/3	0,100	49784	<i>Turbulent</i>

- Hubungan Variasi Bukaan Katup Terhadap Penurunan Tekanan dan Rugi Minor pada *Elbow* 45°



Gambar 12. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan *elbow 45⁰*



Gambar 13. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap rugi minor *elbow 45⁰*

Data hasil pengujian pipa *elbow 90⁰* bukaan katup $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{3}$. sbb:

Tabel 13. Data hasil pengujian tekanan pada *elbow 90⁰*

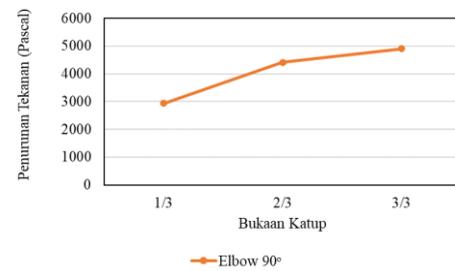
Bukaan Katup	P _{in} (Pascal)	P _{out} (Pascal)	Pressure	
			Drop (ΔP) (Pascal)	Debit (m ³ /s)
1/3	36285	33343	2942	0,00058
2/3	59330	54917	4413	0,00070
3/3	65705	60801	4903	0,00080

Pada tabel 13 menunjukkan bahwa semakin besar bukaan katupnya, maka semakin besar penurunan tekanan dan debit aliran yang terjadi.

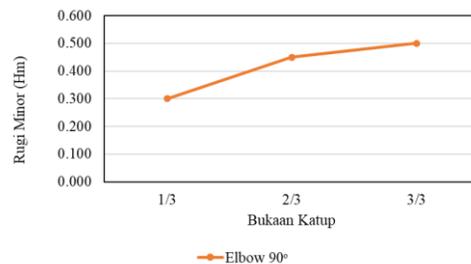
Tabel 14. Nilai rugi minor dan bil. *Reynolds elbow 90⁰*

Nama Komponen	Bukaan Katup	Rugi Minor (H _L)	Bil. Reynolds	Jenis Aliran
<i>Elbow 45⁰</i>	1/3	0,300	35931	<i>Turbulent</i>
	2/3	0,450	43724	<i>Turbulent</i>
	3/3	0,500	49784	<i>Turbulent</i>

- Hubungan Variasi Bukaan Katup Terhadap Penurunan Tekanan dan Rugi Minor pada *Elbow 90⁰*



Gambar 14. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan *elbow 90⁰*



Gambar 15. Grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap rugi minor *elbow 90⁰*

Pada gambar 12,13,14 dan 15 menunjukkan grafik hubungan variasi bukaan katup terhadap penurunan tekanan dan rugi minor pada komponen *elbow 45⁰* dan *90⁰*. Hasil penelitian menyatakan semakin besar variasi bukaan katup maka semakin besar penurunan tekanan dan rugi minor yang terjadi.

Adapun nilai penurunan tekanan dan rugi minor pada terbesar terjadi pada *Elbow 45⁰* bukaan katup $\frac{3}{3}$ (bukaan penuh). Penurunan tekanan terbesarnya yaitu 981 Pa dan nilai rugi minor sebesar 0,10 m. Adapun aliran yang terjadi

pada *Elbow* 45⁰ adalah aliran turbulen, karena besar nilai bilangan *Reynolds* > 4000. Untuk nilai penurunan tekanan dan rugi minor pada terbesar terjadi pada *Elbow* 90⁰ bukaan katup $\frac{3}{4}$ (bukaan penuh). Penurunan tekanan terbesarnya yaitu 4903 Pa dan nilai rugi minor sebesar 0,5 m. Adapun aliran yang terjadi pada *Elbow* 90⁰ adalah aliran turbulen, karena besar nilai bilangan *Reynolds* > 4000.

Kerugian pada *elbow* 90⁰ lebih besar dibandingkan *elbow* 45⁰. Hal ini disebabkan karena pada belokan 90⁰ terjadi tumbukan aliran yang besar/belokan lebih tajam, sehingga rugi alirannya juga semakin besar. Namun pada belokan 45⁰ tumbukan alirannya lebih kecil, karena belokan lebih landai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan variasi bukaan katup mempengaruhi nilai kerugian yang terjadi pada aliran di dalam pipa. Dimana semakin besar bukaan katup maka semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan yang mana hal ini dipengaruhi oleh debit aliran yang mengalir, semakin besar bukaan katupnya fluida yang masuk semakin besar juga. Penurunan tekanan terbesar pada pipa lurus yaitu pipa *Galvanized steel* sebesar 3236 Pa, sedangkan komponen pipa sebesar 4903 Pa terjadi pada *Elbow* 90⁰. Rugi mayor terbesar yang terjadi pada pipa *Galvanized steel* sebesar 0,33 m, sedangkan untuk rugi minor terbesar terjadi pada *Elbow* 90⁰ sebesar 0,5 m.

Saran

Adapun untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan simulasi penurunan tekanan yang terjadi pada alat uji rugi – rugi aliran dengan bantuan aplikasi CFD untuk membandingkan hasilnya dengan hasil eksperimental dan mengetahui arah aliran yang terjadi.

REFERENSI

- Akmal, Saiful, and Nasrul Za. 2019. “Jurnal Teknologi Kimia Unimal Analisa Profil Aliran Fluida Cair Dan Pressure Drop Pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD).” 2(November):53–72.
- Basri, Asep, and Muhamad Fitri. 2021. “Perancangan Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode VDI 2221 ISSN 2549-2888 Jurnal Teknik Mesin : Vol . 10 , No . 3 , Oktober 2021 ISSN 2549-2888.” 10(3).
- Fadhly Mujahid. 2021. “Analisis Head Losses Mayor Dan Minor Pada Sistem Instalasi Turbin Pelton Skala Mikro.” *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Gusfito Riantama, Ir. Kaidir, M. Eng, Rizky Arman., S. T. M. .. 2022. “Studi Peformansi Aliran Fluida Pada Instalasi Pipa Denga Material Dan Dimensi Bervariasi.” *Padang, Sumatra Barat*.
- Hayati, Nur, Adi Purwanto, and Erwan Muladi. 2021. “Pengaruh Diameter Knee Pada Headloss Aliran Berbasis Monogram, CAD Dan CAE.” *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy* 5(2):194–201. doi: 10.31289/jmemme.v5i2.5405.
- Munson, Bruce R., Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, Rothmayer, and Alric P. 2013. *Fundamentals of Fluid Mechanics Seventh Edition*.
- Nugraha, et al. 2014. “Pemodelan Dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) Di Belokan 90 0.” *Jurnal Rekayasa Mesin* 5(3):225–38.
- Putra, Ismet Eka, and Ari Galsha. 2017. “Analisa Rugi Aliran (Head Losses) Pada Belokan Pipa PVC.” 34–39. doi: 10.21063/PIMIMD4.2017.34-39.
- Sayoga, I. Made Adi, and I. Made Nuarsa. 2012. “60228-ID-Analisa-Pengaruh-Variasi-Sudut-Sambungan.” 2(2):75–83.
- Sepfitrah, and Yose Rizal. 2013. “Analisa Pressure Drop Pada Instalasi Pipa Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Menggunakan CFD FLUENT 6.0.” *Jurnal APTEK* 5(1):45–56.
- Septian, Bayu. 2019. “Simulasi Numerik Profil Aliran Dan Penurunan Tekanan Aliran Terhadap Sudut Belokan Pipa.”
- Song, Hongqing. 2018. *Engineering Fluid Mechanics*.
- Wibowo, Agus Setiawan, Tito Syahril Izha Sobarudin, and Muhamad Fitri. 2022. “Tinjauan Penelitian Tentang Simulasi Penurunan Tekanan Akibat Rugi – Rugi Aliran Pada Instalasi Pipa ISSN 2549-2888 Jurnal Teknik Mesin : Vol . 11 , No . 3 , Oktober 2022 ISSN 2549-2888.” 11(3).