

## Rancang Bangun Prototipe *Fluid Friction Apparatus* Untuk Menganalisis Kehilangan Energi (*Head Loss*) dengan Variasi Diameter Pipa

### *Fluid Friction Apparatus Prototype Design to Analyze Head Loss with Variation of Pipe Diameter*

Muhammad Luthfi<sup>1</sup>, Totok Yulianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasyim Asyari Tebuireng, Jombang, 61411, Indonesia Email : [luthfi.engineer21@gmail.com](mailto:luthfi.engineer21@gmail.com)

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasyim Asyari Tebuireng, Jombang, 61411, Indonesia Email : [totokyulianto36@gmail.com](mailto:totokyulianto36@gmail.com)

#### Abstrak

Rancang bangun prototipe fluid friction apparatus telah selesai dirancang dan diuji pada penelitian ini. Pembuatan prototipe ini dilakukan di laboratorium Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang. Head loss atau kehilangan energi adalah suatu fenomena rugi-rugi aliran di dalam sistem perpipaan. Head loss yang terjadi prinsipnya ada dua macam, yaitu head loss mayor dan head loss minor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bangun prototipe fluid friction apparatus yang dapat digunakan untuk media pembelajaran dalam menganalisis head loss skala laboratorium. Bahan pipa terbuat dari Poly Vinyl Chloride (PVC) kelas AW dengan beberapa variasi diameter yang digunakan, yaitu diameter 1", ¾" dan ½". Tekanan air diukur menggunakan pressure gauge digital serta pengukuran debit menggunakan flowmeter. Pengujian kehilangan energi dilakukan pada pipa diameter 1", pipa diameter ¾" dan pipa diameter ½". Hasil pengujian dari prototipe menunjukkan bahwa pipa diameter 1" mengalami head loss mayor sebesar 0,092 m, pipa diameter ¾" mengalami head loss mayor sebesar 0,245 m dan pipa diameter ½" mengalami head loss mayor yang terjadi sebesar 0,571 m. Berdasarkan hasil yang telah dicapai, kesimpulan yang didapatkan adalah Nilai head loss mayor mengalami penurunan seiring bertambah besar diameter pipa.

**Kata Kunci:** Rancang bangun; head loss; diameter pipa; bilangan reynold

#### Abstract

*The prototype design of the fluid friction device has been designed and tested in this research. This prototype was made in the laboratory of Hasyim Asy'ari University, Tebuireng, Jombang. Head loss or energy loss is a phenomenon of flow losses in the piping system. Head loss that occurs in principle there are two kinds, namely major head loss and minor head loss. The purpose of this research is to design a prototype of fluid friction equipment that can be used for learning media in analyzing head loss laboratory scale. The pipe material is made of Poly Vinyl Chloride (PVC) class AW with several variations of diameter used, namely 1", ¾" and ½" diameter. Air pressure is measured using a digital pressure gauge and discharge measurement using a flowmeter. Energy loss tests are carried out on 1" diameter pipe, ¾" pipe diameter and ½" pipe diameter. The test results of the prototype show that the 1" diameter pipe experienced a major head loss of 0.092 m, the ¾" diameter pipe experienced a major head loss of 0.245 m and the ½" diameter pipe experienced a major head loss of 0.571 m. Based on the results that have been achieved, the conclusion obtained is that the value of the major head loss decreases as the pipe diameter increases.*

**Keywords:** Design; head loss; pipe diameter; valve opening

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan teknologi disaat ini tak lepas dari pertumbuhan ilmu mekanika fluida. Konsep teknologi yang memanfaatkan aliran fluida ialah sistem perpipaan. Cara kerja dari pipa ialah mengalirkan fluida dari suatu titik ke titik lainnya. Kemauan perancang sistem perpipaan ialah sanggup mengalirkan fluida dengan meminimalisir tenaga pompa, serta rancangan yang sederhana. Permasalahan yang lain, fluida memiliki sifat-sifat yang mempengaruhi kualitas serta kuantitas aliran yang terjadi pada pipa itu sendiri (Wijanarko, Arsana, and Yunitasari 2019).

Air adalah salah satu jenis fluida yang keberadaannya selalu dibutuhkan. Penyaluran air melalui pipa pastinya mempunyai bermacam kendala. Salah satunya merupakan kehilangan energi yang akan merugikan sebab dapat mengurangi tekanan air untuk sampai ke tujuan yang di rencanakan. Bentuk - bentuk kehilangan energi pada aliran air antara lain dikarenakan terdapat gesekan antara air dan dinding pipa, pergantian diameter pipa, belokan pipa, percabangan pipa, penggunaan sambungan, katup (Mahmudin 2018).

*Fluid Friction Apparatus* ialah perlengkapan yang berfungsi untuk menguji perilaku aliran yang terjadi pada pipa, seperti kehilangan energi atau *head loss*, baik *head loss mayor* ataupun *head loss minor*. Perlengkapan ini terdiri atas sebagian rangkaian pipa yang dihubungkan menggunakan sambungan serta diukur dengan manometer. Melalui perlengkapan ini, bisa diidentifikasi perilaku yang terjadi pada aliran fluida secara totalitas. Tidak hanya terbuat pabrikan, perlengkapan *Fluid Friction Apparatus* juga bisa dirancang bangun dengan model fisik skala laboratorium (Aristeffany 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti bermaksud untuk merancang bangun prototipe *Fluid Friction Apparatus* yang dapat digunakan untuk menganalisis kehilangan energi pada skala laboratorium.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Debit dan Kecepatan Aliran

Debit aliran adalah jumlah volume aliran yang mengalir per satuan waktu. Satuan debit yang umum digunakan adalah meter kubik per detik ( $m^3/s$ ). Besarnya debit dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = A.V \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan:

Q = Debit aliran ( $m^3/s$ )

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang pipa ( $m^2$ )

Selain dengan persamaan diatas, debit aliran juga bisa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan:

Q = Debit aliran ( $m^3/s$ )

v = Volume aliran ( $m^3$ )

t = Waktu aliran (s)

Kecepatan aliran fluida dapat diartikan sebagai besarnya debit yang mengalir persatuan luas.

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots [3]$$

Keterangan:

V = Kecepatan atau laju aliran (m/s)

Q = Debit aliran ( $m^3/s$ )

A = Luas penampang pipa ( $m^2$ )

### Bilangan Reynold

Bilangan *Reynold* merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan jenis aliran yang terjadi didalam sistem perpipaan. Diasumsikan *laminer* bila bilangan *Reynold*  $<2300$ , untuk aliran *transisi* bilangan *Reynold*  $2300 < Re < 4000$  dan termasuk jenis aliran *turbulen* bila bilangan *Reynold*  $>4000$ . *Reynold* dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran rata-rata fluida (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida (Pa.s)

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

### Kehilangan Energi (*Head Loss*)

Kehilangan energi atau *head loss* merupakan salah satu permasalahan yang terjadi pada sistem perpipaan. *Head loss* dibedakan menjadi dua jenis yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Head loss mayor* adalah kehilangan energi karena gesekan antara fuida dengan dinding pipa dengan luas penampang tetap atau konstan. *Head loss mayor* dapat dihitung dengan persamaan *Darcy Weisbach* sebagai berikut,

$$H_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan:

- $H_f$  = Kehilangan energi akibat gesekan (m)
  - $L$  = Panjang pipa (m)
  - $D$  = Diameter pipa (m)
  - $v$  = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
  - $g$  = Gravitasi bumi = 9,81 (m/s<sup>2</sup>)
  - $f$  = Faktor gesek (diperoleh dari diagram *moody*)
- Head loss minor* adalah kehilangan energi akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, sambungan Tee, sambungan belokan dan pada luas penampang yang tidak konstan.

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots [5]$$

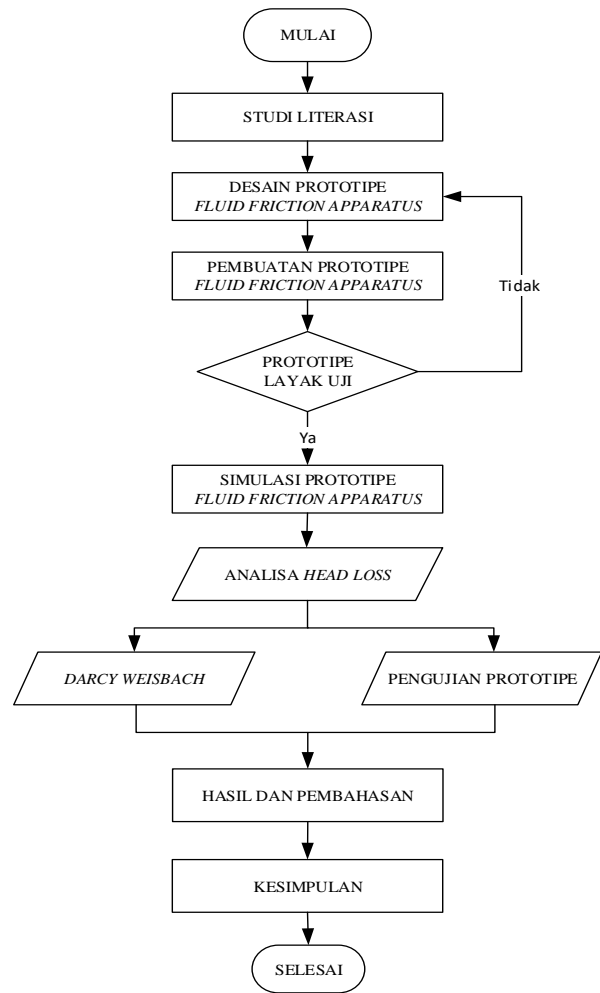
Keterangan:

- $H_m$  = Kehilangan energi minor (m)
- $v$  = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
- $g$  = Gravitasi bumi = 9,81 (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  = Koefisien kerugian

**METODE**

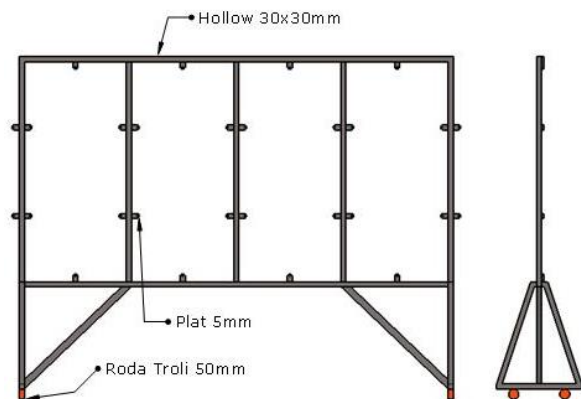
**Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D)**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D). Menurut Pratama, Raharjo dan Suprpto (2014:72) dengan membuat desain dan memproduksi satu instalasi perpipaan dengan bentuk rangkaian tertentu dan melakukan pengujian pada setiap sambungan atau perangkat lain yang terpasang terhadap kerugian tekanan yang terjadi. Adapun alur penelitian dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.

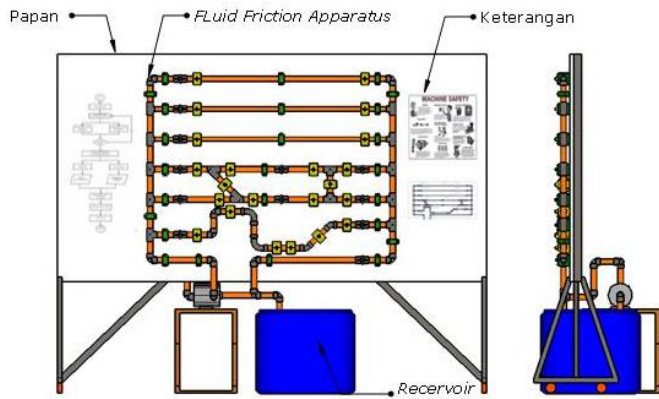


**Gambar 1.** Flowchart penelitian Desain Prototipe

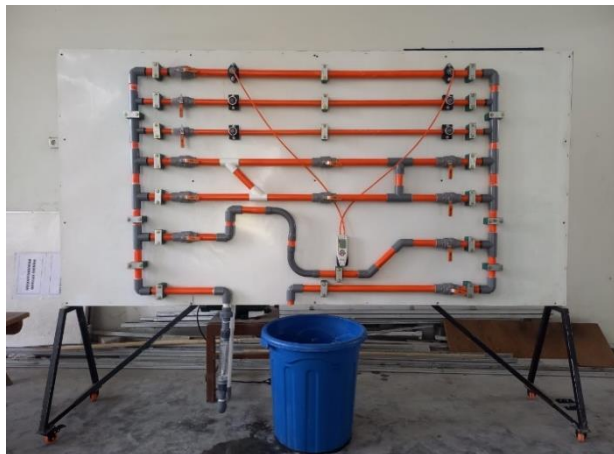
Desain prototipe terdiri atas 2 bagian utama yaitu bagian rangka dan bagian *fluid friction apparatus*. Bahan dasar pembuatan rangka menggunakan besi hollow ukuran 30x30mm.



**Gambar 2.** Desain rangka prototipe



Gambar 3. Desain prototipe fluid friction apparatus



Gambar 4. Hasil rancang bangun prototipe fluid friction apparatus

### Simulasi Pengujian

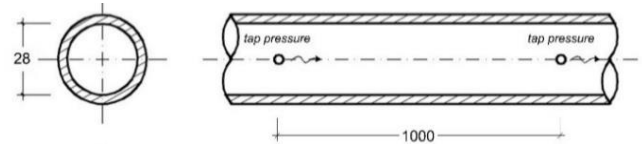
Langkah-langkah pengujian untuk menghitung nilai *head loss mayor* pada prototipe *fluid friction apparatus* adalah sebagai berikut:

- Membuka salah satu jalur pipa yang akan diuji.
- Menyalakan pompa air.
- Setelah aliran stabil, nyalakan *pressure gauge* digital dan aktifkan mode rekam selama pengambilan data.
- Mengambil data volume aliran menggunakan gelas ukur serta mencatat waktu yang dibutuhkan.
- Mencatat nilai tekanan rata-rata yang terekam pada *pressure gauge* digital.
- Lakukan prosedur yang sama pada jalur pipa berikutnya.
- Matikan pompa air selesai pengujian.

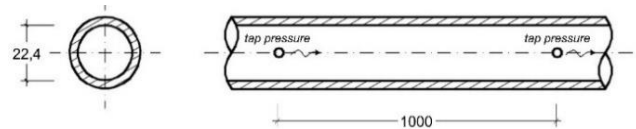
Setiap pengujian dilakukan 10 kali pengamatan dengan variasi diameter 1", ¾" dan ½". Beberapa data yang diambil dari pengujian berupa data volume air yang mengalir persatuan waktu atau debit dan data *pressure drop*.

### Jenis Pipa yang Diteliti

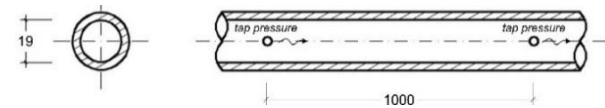
Pipa yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis pipa PVC dari pabrikan yang sama sehingga memiliki spesifikasi yang sama. Variabel yang membedakan adalah diameter pipa yang digunakan terdiri dari 3 diameter yang berbeda yaitu diameter 1", diameter ¾" dan diameter ½". Berikut ini merupakan gambar detail potongan pipa yang diuji.



Gambar 5. Pipa lurus standar 1"



Gambar 6. Pipa lurus standar ¾"



Gambar 7. Pipa lurus standar ½"

Jarak antara titik *inlet* dan *outlet* pada ketiga jenis pipa yang digunakan sama, yaitu 1000 mm atau 1 m.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Hasil Pengujian

Data yang diambil berupa tekanan pada *inlet* dan *outlet* pipa yang terekam pada *pressure gauge* digital. Kemudian diambil nilai rata-rata dari 10 pengamatan untuk setiap diameter pipa yang diuji. Berikut ini merupakan debit dan kecepatan rata-rata yang diperoleh di dari setiap diameter pipa.

Tabel 1. Nilai rata-rata debit dan kecepatan

Diameter Pipa		$\bar{Q}$	A	$\bar{V}$
inch	mm	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)
1	32	0,00099	0,00062	1,607
¾	25	0,00096	0,00039	2,431
½	22	0,00094	0,00028	3,311

Sumber data diolah dari hasil uji prototipe

### Perhitungan Bilangan Reynold

Sebelum menghitung *head loss mayor*, terlebih dahulu harus mengetahui nilai faktor gesek (*f*) dari digram *moody*.

Untuk mendapatkan nilai *f* terlebih dahulu dicari bilangan *Reynold* dengan menggunakan rumus berikut.

<https://doi.org/10.26740/proteksi.v5n1.p29-35>

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana:

- $V = 1,607 \text{ m/s}$
- $D = 1'' \text{ diameter dalam } 0,028 \text{ m}$
- $\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$
- $\rho = \text{Massa jenis fluida (kg/m}^3\text{)}$

Sehingga,

$$Re = \frac{998 \times 1,607 \times 0,028}{0,001}$$

$$Re = 44894 \text{ (turbulen)}$$

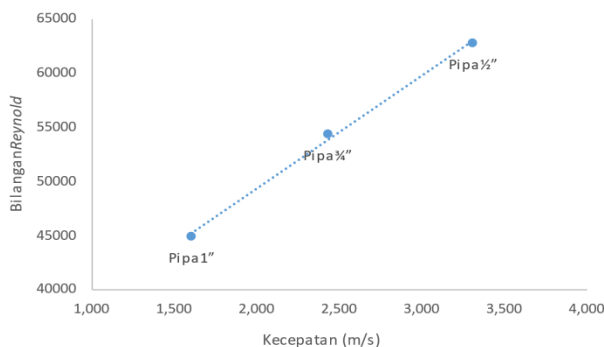
Hasil keseluruhan perhitungan bilangan *Reynold* pada 3 jenis diameter pipa yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Perhitungan bilangan *Reynold*

Pipa	D	L	V	g	f	Hf
Inch	(m)	(m)	(m/s)	(m/s <sup>2</sup> )		(m)
1	0,0280	1	44894	9,8	0,0221	0,104
¾	0,0224	1	54343	9,8	0,0216	0,291
½	0,0190	1	62788	9,8	0,0210	0,618

Sumber data diolah dari hasil uji prototype

Dari tabel dapat dilihat bahwa hasil keseluruhan untuk bilangan *Reynold* lebih dari 4000 yang berarti bahwa aliran yang dihasilkan merupakan aliran *turbulen*.



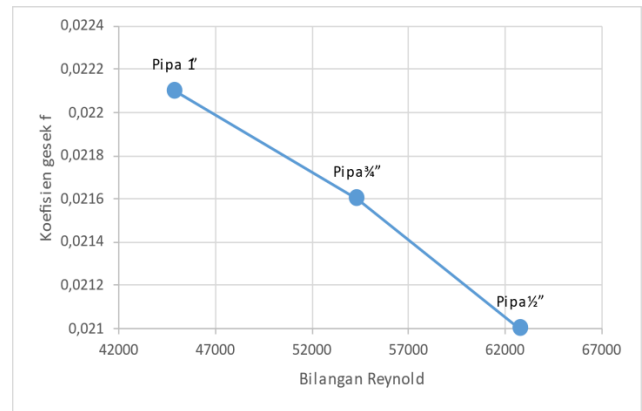
Gambar 8. Grafik kecepatan & bilangan Reynold

Untuk aliran yang bersifat *turbulen* maka nilai *f* dapat dicari dengan menggunakan diagram *Moody*. Hasil keseluruhan pembacaan nilai faktor gesek (*f*) pada diagram *Moody* untuk 3 jenis diameter pipa yang berbeda dapat dilihat pada tabel

Tabel 3. Perhitungan nilai *f*

Diameter Pipa	Diameter dalam pipa	V	Re	f
Inch	mm	(m/s)		
1	32	1,607	44894	0,0221
¾	25	2,431	54343	0,0216
½	22	3,311	62788	0,0210

Sumber data diolah dari hasil uji prototype



Gambar 9. Koefisien gesek & bilangan Reynold

**Perhitungan Head Loss Mayor Teoritis**

Setelah mendapat setiap parameter yang dibutuhkan maka nilai kerugian *head loss mayor* dapat dihitung:

$$Hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots [2]$$

Dimana pada pengujian jalur pipa berdiameter 1'' diketahui:

- $f = 0,0221$
- $L = 1 \text{ m}$
- $V = 1,607 \text{ m/s}$
- $D = 0,028$

Sehingga,

$$Hf = 0,0221 \frac{1 \cdot 1,607^2}{0,028 \cdot 2 \times 9,8}$$

$$Hf = 0,104 \text{ m}$$

Hasil keseluruhan perhitungan *head loss mayor* teoritis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Perhitungan *head loss mayor* teoritis

Diameter Pipa	Diameter dalam pipa	V	Reynold
Inch	mm	(m/s)	
1	32	1,607	44894
¾	25	2,431	54343
½	22	3,311	62788

Sumber data diolah dari hasil uji prototype

**Perhitungan Head Loss Mayor Hasil Pengujian**

Kehilangan energi *head loss mayor* pada aliran fluida dapat ditunjukkan dengan besarnya penurunan tekanan aliran. Besarnya penurunan tekanan aliran yang diambil adalah nilai rata-rata yang terbaca pada *pressure gauge* digital. Berikut ini merupakan nilai penurunan tekanan yang di rekap dari tabel data hasil pengujian.



Tabel 5. Pembacaan *pressure gauge*

Pipa	Diameter dalam pipa	<i>P</i>	$\frac{S}{G}$	<i>H<sub>f</sub></i>
Inch	(m)	(bar)		(m)
1	0,0280	0,009	1	0,092
¾	0,0224	0,024	1	0,245
½	0,0190	0,056	1	0,571

Besar *head loss mayor* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta H_f = \frac{P}{0,0981.SG} \dots\dots\dots [3]$$

Dimana:

*P* = 0,009 (*Pressure drop* pada pipa 1")

*SG* = 1 (*Spesific Gravity of water*)

Sehingga,

$$\Delta H_f = \frac{0,009}{0,0981 \times 1}$$

$$\Delta H_f = 0,092 \text{ m}$$

Hasil keseluruhan perhitungan *head loss mayor* pada 3 jenis diameter pipa yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Perhitungan *head loss mayor* pengujian

Diameter Pipa		$\bar{Q}$	A	V	<i>P</i>
Inch	mm	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(bar)
1	32	0,0280	0,00062	1,607	0,009
¾	25	0,0224	0,00039	2,431	0,024
½	22	0,0190	0,00028	3,311	0,056

Sumber data diolah dari hasil uji prototype

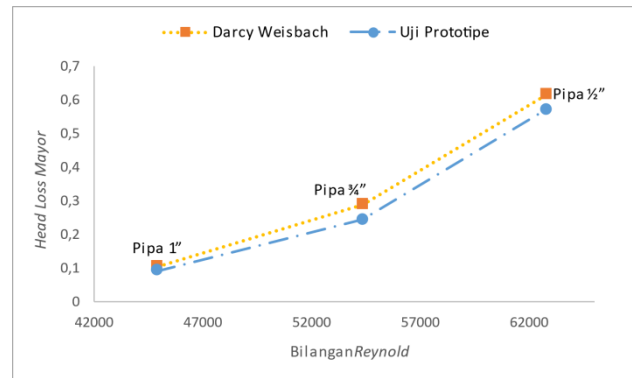
**Perbandingan Head Loss Mayor**

Berdasarkan kedua hasil perhitungan *head loss mayor*, maka dapat dilihat perbedaan untuk masing-masing perhitungan.

Tabel 7. Perhitungan *head loss mayor* pengujian

Pipa	<i>H<sub>f</sub></i> Teori Darcy Weisbach	<i>H<sub>f</sub></i> Uji Prototype
Inch	(m)	(m)
1	0,104	0,092
¾	0,291	0,245
½	0,618	0,571

Sumber data diolah dari hasil uji prototype



Gambar 9. Grafik *head loss & bilangan Reynold*

**Perhitungan Kesalahan Relatif**

Perhitungan kesalahan relatif prototipe adalah persentase perbandingan antara hasil perhitungan secara teori *Darcy Weisbach* dan hasil perhitungan pengujian pada prototipe.

Tabel 8. Perhitungan kesalahan relatif

Pipa	<i>H<sub>f</sub></i> Teori Darcy Weisbach	<i>H<sub>f</sub></i> Uji Prototype	Kesalahan Relatif
Inch	(m)	(m)	(%)
1	0,104	0,092	13
¾	0,291	0,245	18
½	0,618	0,571	8

Sumber data diolah dari hasil uji prototype

**KESIMPULAN**

Prototype *Fluid Friction Apparatus* telah selesai dirancang dengan beberapa tahapan mulai dari proses desain prototipe, perhitungan kebutuhan material sampai pembuatan prototipe. Untuk hasil pengujian kesalahan relatif mendapatkan hasil yang berbeda pada tiap diameter pipa. Pipa diameter 1" sebesar 13%, pipa diameter ¾" 18% dan pipa ½"

Dari variasi diameter yang digunakan menunjukkan bahwa pipa diameter 1" mengalami *head loss mayor* sebesar 0,092 m, pipa diameter ¾" mengalami *head loss mayor* sebesar 0,245 m dan pipa diameter ½" mengalami *head loss mayor* yang terjadi sebesar 0,571 m. Nilai *head loss mayor* mengalami penurunan seiring bertambah besar diameter pipa.

**REFERENSI**

Apristeffany, Renda. 2018. "Rancang Bangun Fluid Friction Apparatus Menggunakan Konsep Bernoulli Untuk Menganalisis Kehilangan Energi ( Headloss ) Pada Sistem Perpipaan Fakultas Teknik - Universitas Andalas."  
 Fahrudin, Arasy, and Mulyadi Mulyadi. 2018. "Rancang Bangun Alat Uji Head Losses Dengan Variasi Debit Dan Jarak Elbow 90o <https://doi.org/10.26740/proteksi.v5n1.p29-35>

- Untuk Sistem Perpipaan Yang Efisien.”  
*Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*  
*7(1): 32–35.*
- Kamiana, I. M., Nindito, D. A., & Wulandari, A.  
2022. Pemodelan Fisik Konstruksi Kelompok  
Tiang dalam Mereduksi Aliran Super Kritis  
di Hilir Pintu Air Tipe Flap. *Publikasi Riset*  
*Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(2), 67-73.
- Mahmudin. 2018. “Studi Eksperimental Penurunan  
Takanan Aliran Melewati Belokan Pipa  
Horizontal Dengan Variasi Rasio R / D.”  
*Teknologi 18: 45–52.*
- Priyati, Asih, Sirajuddin Haji Abdullah, and  
Khairun Hafiz. 2019. “Analisis Head Losses  
Akibat Belokan Pipa 90° (Sambungan  
Vertikal) Dengan Pemasangan Tube Bundle.”  
*Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan*  
*Biosistem 7(1): 95–104.*
- Syahputra, Syofyan anwar, and Aspan Panjaitan.  
2015. “Pengaruh Debit Aliran Terhadap Head  
Losses.”
- Wibowo, Sandi Setya, Kun Suharno, and Sri  
Widodo. 2017. “Analisis Debit Fluida Pada  
Pipa Elbow 90° Dengan Variasi Diameter  
Pipa.” *0259: 48–54.*
- Wijanarko, Diastian Vinaya, I Made Arsana, and  
Bellina Yunitasari. 2019. “Rancang Bangun  
Trainer Friction Loss Pada Sistem Perpipaan  
Sebagai Media Pembelajaran Di  
Laboratorium Mekanika Fluida Pada Jurusan  
Teknik Mesin Unesa.” *Otopro 13(1): 1.*