

## PERANCANGAN ALAT PRAKTIKUM UJI KERUGIAN TEKANAN ALIRAN AIR DALAM PIPA

Tabah Priangkoso\* dan Dwi Ermadi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim  
Jl. Menoreh Tengah X/22 Semarang

\*Email: tabah@unwahas.ac.id

### Abstrak

*Uji kerugian tekanan pada sistem perpipaan merupakan salah satu mata praktikum Fenomena Dasar Mesin dengan tujuan memberikan pemahaman kepada mahasiswa tentang terjadinya kerugian tekanan di sepanjang sistem perpipaan yang diakibatkan oleh gaya gesek air pada permukaan dinding dalam pipa. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat praktikum uji kerugian tekanan aliran fluida dalam pipa. Fluida yang digunakan adalah air dan pipa yang digunakan berbahan PVC. Sistem perpipaan terdiri dari pipa lurus sepanjang 0,8 m, fitting lurus, dan fitting elbow dengan diameter 1". Pengukuran kerugian head setiap komponen dalam sistem perpipaan dilakukan dengan menghitung selisih tekanan masuk dan keluar dalam bentuk kerugian head menggunakan manometer, sedangkan pengukuran debit aliran menggunakan rotameter dari 10 L/min dengan peningkatan 5 L/min hingga 35 L/min. Hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hasil pengukuran kerugian head pipa lurus pada alat uji menunjukkan rata-rata mempunyai kesamaan lebih dari 90% untuk setiap debit, sedangkan pada fitting lurus dan fitting elbow didapatkan kesamaan lebih dari 70%. Dengan demikian alat praktikum uji kerugian tekanan aliran air dalam pipa dapat digunakan untuk praktikum.*

**Kata kunci:** head, fitting, air, PVC

### PENDAHULUAN

Praktikum merupakan proses pembelajaran yang mengasah tiga aspek kompetensi sekaligus secara berimbang yaitu kognitif, psikomotorik, dan afektif. Praktikum selain menjadi ajang pembuktian teori bagi mahasiswa, juga menjadi kegiatan untuk berlatih melakukan percobaan (eksperimen). Praktikum diharapkan memperjelas materi dan melatih mahasiswa untuk menerapkan metode ilmiah dalam memecahkan masalah (Erwin, Permana, & Hayat, 2018). Dalam pembelajaran praktikum, selain melakukan percobaan mahasiswa melakukan pengamatan, mengolah dan menganalisis data untuk menarik kesimpulan.

Salah satu praktikum yang wajib dilakukan oleh mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Program Sarjana adalah Praktikum Fenomena Dasar Mesin (Sugiarto, Daryanto, Indarto, & Jumiadi, 2005). Dari beberapa mata praktikum, pengujian kerugian tekanan aliran dalam sistem perpipaan menjadi mata praktikum wajib bagi mahasiswa. Hal ini mengingat penghitungan kerugian tekanan fluida yang mengalir dalam pipa dilaksanakan dalam cakupan *engineering* yang sangat luas.

Permasalahan yang dihadapi dalam pelaksanaan praktikum pada umumnya adalah tiadanya sarana atau alat praktik yang memadai. Pengadaan alat praktikum uji kerugian tekanan aliran fluida mempunyai kesulitan tersendiri karena merupakan produk impor dan mahal. Dengan demikian diperlukan alat uji kerugian tekanan aliran fluida dalam pipa yang andal dan mempunyai harga yang terjangkau.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat praktikum uji kerugian tekanan aliran fluida dalam pipa yang dapat diandalkan untuk kegiatan praktikum mahasiswa.

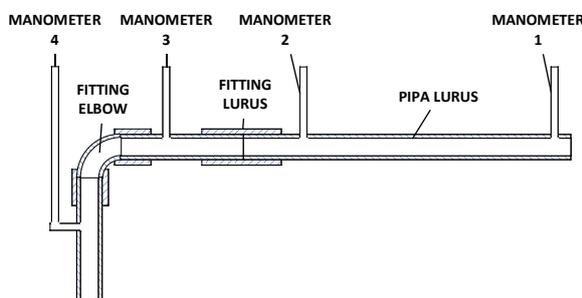
### METODOLOGI

Perancangan diawali dengan memilih komponen dalam sistem perpipaan. Komponen sistem perpipaan yang dipilih adalah pipa lurus, fitting lurus, dan fitting elbow. Masing-masing komponen akan diukur tingkat kerugian tekanan aliran fluida yang melewati setiap komponen tersebut. Air dipilih sebagai fluida karena mudah didapat dan sifatnya yang tidak beracun.

Langkah selanjutnya adalah memilih bahan komponen dan alat ukur untuk mengukur tekanan pada sisi masuk dan keluar komponen sistem perpipaan. PVC dipilih untuk ketiga komponen

sistem perpipaan dengan diameter dalam 1 inci. Diameter 1 inci dipilih dengan pertimbangan mudah diingat dan konversi satuan ke satuan SI juga lebih mudah. Untuk pipa lurus dipilih panjang 0,8 meter. Panjang ini dipilih karena masih harus dirangkai dengan *fitting* lurus dan *fitting elbow* sehingga panjangnya harus dibatasi agar tidak memakan tempat. Pipa lurus mewakili kerugian tekanan mayor, sedangkan *fitting* mewakili kerugian tekanan minor.

Alat ukur yang dipilih adalah manometer untuk mengukur perbedaan *head* pada sisi masuk dan keluar setiap komponen. Pipa plastik transparan dengan diameter 5 mm dipilih karena mudah didapat dan murah harganya. Di samping itu, bahannya yang transparan memudahkan pengamatan dalam mengukur perbedaan *head* sisi masuk dan keluar komponen sistem perpipaan. Susunan sistem perpipaan pada rancangan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan susunan sistem perpipaan

Pipa plastik dipasang pada sisi masuk pipa lurus dan sisi keluar pipa lurus. Manometer pada sisi keluar pipa lurus menjadi manometer pada sisi masuk *fitting* lurus. Demikian halnya, manometer pada sisi keluar *fitting* lurus menjadi manometer pada sisi masuk *fitting elbow*. Terakhir, manometer dipasang pada sisi keluar *fitting elbow*. Secara total, terdapat empat manometer yang saling dihubungkan satu sama lain.

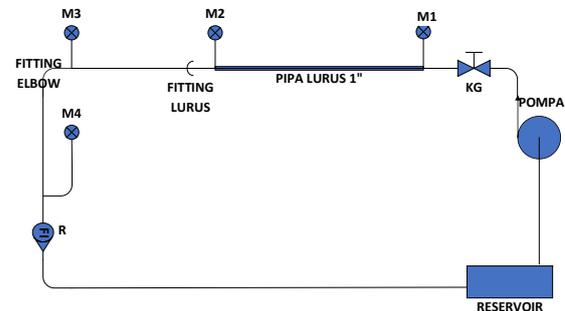
Kerugian tekanan diukur berdasarkan *head* ketinggian kolom air yang muncul di pipa transparan. Masing-masing *head* kolom mewakili tekanan pada sisi masuk dan keluar setiap komponen sistem perpipaan.

Secara keseluruhan, sirkuit alat uji kerugian tekanan aliran dalam pipa dapat dilihat pada gambar 2.

Pompa air yang digunakan mempunyai debit maksimum 40 L/min dan *head* maksimum 42 m berupa pompa air yang biasa digunakan untuk rumah tangga. Fungsi pompa air adalah

menyirkulasi air dalam sistem perpipaan, sehingga tidak ada air yang terbuang.

Katup gerbang (KG) digunakan untuk mengatur debit aliran yang masuk ke sistem sehingga debit bisa diatur dari 10 sampai 35 L/min.



Gambar 2. Sirkuit sistem perpipaan

Manometer 1 s.d. 4 (M1, M2, M3, M4) saling berhubungan dan akan memberikan selisih *head* kolom air di setiap manometer. Pengukuran *head* kolom air menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm. Pengukuran debit aliran menggunakan rotameter (R) dengan kemampuan pengukuran 50 L/min.

Pengukuran *head* kolom air pada semua manometer dilakukan secara bersamaan menggunakan jangka sorong dan dicatat secara tabulasi. Selisih M1 dan M2 adalah kerugian tekanan pipa lurus, selisih M2 dan M3 adalah kerugian tekanan *fitting* lurus, dan selisih M3 dan M4 adalah kerugian tekanan *fitting elbow*. Debit aliran air diatur mulai 10 L/min dan ditingkatkan bertahap tiap 5 L/min sampai mencapai 35 L/min. Kecepatan aliran diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

dimana

$Q$  = debit aliran, m/s;

$A$  = luas penampang dalam pipa, m.

Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Kerugian mayor dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach (Elger, Lebet, Rowe, & Roberson, 2016) sebagaimana Persamaan (2)

$$h_{l\text{ major}} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

dimana

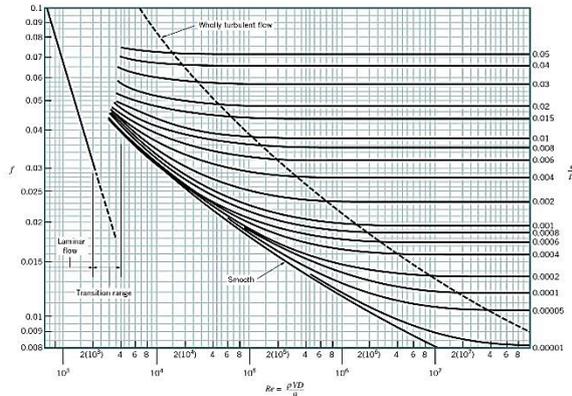
$f$  = faktor gesekan yang diperoleh menggunakan diagram Moody pada gambar 3;

$L$  = panjang pipa = 0,80 m;

$V$  = laju aliran air, m/s

$D$  = diameter pipa = 0,0254 m;

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>.



Gambar 3. Diagram Moody

Untuk memperoleh faktor gesek pada diagram Moody diperlukan data Bilangan Reynold untuk menentukan sifat aliran dan berapa besar faktor gesekan (Elger, Leuret, Rowe, & Roberson, 2016). Nilai kekasaran permukaan dalam pipa PVC sebesar  $\epsilon = 0,0015$  mm (Pipe Roughness, 2019). Harga kekasaran ini juga sesuai dengan yang direkomendasikan Darby dan Chhabra (2017) sehingga  $\epsilon/D = 0.00005906$ . Bilangan Reynold ditentukan menggunakan persamaan (3).

$$Re = \frac{\rho DV}{\nu} \tag{3}$$

dimana

$\rho$  = massa jenis air = 1000 kg/m<sup>3</sup>;

$D$  = diameter pipa = 0,0254 m;

$V$  = kecepatan aliran, m/s;

$\nu$  = kekentalan kinematik pada 30°C  
= 8,009 x 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s.

Kerugian minor dihitung menggunakan persamaan (4) (Potter & Wiggert, 2008)

$$h_{minor} = K \frac{V^2}{2g} \tag{4}$$

dimana

$K$  = koefisien kerugian, diperoleh dari tabel 1;

$V$  = laju aliran, m/s

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Hasil pengukuran kerugian *head* minor dilakukan mengingat manometer dipasang pada pipa lurus di luar *fitting* sehingga ikut terukur kerugiannya. Koreksi menggunakan gambar 4 dan Persamaan (5) untuk menghitung koreksi kerugian *head*.

$$h_c = f \frac{L_1 V^2}{D 2g} + f \frac{L_2 V^2}{D 2g} \tag{5}$$

dimana

$f$  = faktor gesekan pipa lurus dengan  $f$  diperoleh dari diagram Moody pada perhitungan kerugian *head* pipa lurus;

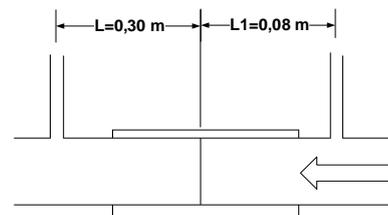
$L_1$  = jarak manometer pada sisi masuk ke *fitting*, *fitting* lurus = 0,06 m dan *fitting* elbow = 0,08 m;

$L_2$  = jarak manometer pada sisi keluar ke *fitting*, *fitting* lurus = 0,44 m dan *fitting* elbow = 0,30 m;

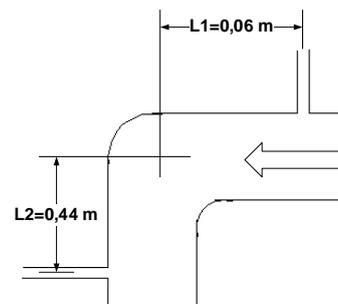
$D$  = diameter pipa = 0,0254 m;

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Kerugian *head* minor merupakan selisih tinggi kolom manometer pada sisi masuk dan keluar *fitting* dikurangi koreksi kerugian *head* pada Persamaan (5).



(a)



(b)

Gambar 4. Jarak manometer pada *fitting* (a) lurus dan (b) *elbow* yang digunakan untuk koreksi pengukuran pada Persamaan (5)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pipa lurus.

Kerugian *head* terukur pada pipa lurus disajikan pada tabel 2.

**Tabel 2. Kerugian *head* pipa lurus PVC teoritis**

Q (lpm)	V <sup>1)</sup> (m/s)	Re <sup>2)</sup>	Faktor gesekan $f$ <sup>3)</sup>	Kerugian teoritis <sup>4)</sup> (mm)
35	1,1512	$3,651 \times 10^6$	0,0225	37,4
30	0,9868	$3,129 \times 10^6$	0,0235	27,0
25	0,8223	$2,608 \times 10^6$	0,0245	19,4
20	0,6578	$2,086 \times 10^6$	0,0255	12,8
15	0,4934	$1,565 \times 10^6$	0,0280	7,8
10	0,3289	$1,043 \times 10^6$	0,0305	3,8

<sup>1)</sup>Persamaan (1); <sup>2)</sup>Persamaan (3); <sup>3)</sup>Dari diagram Moody; <sup>4)</sup>Persamaan (2)

Kerugian *head* teoritis akan digunakan sebagai pembanding pengukuran kerugian *head* pada alat praktikum pada tabel 3.

**Tabel 3. Kerugian *head* pipa lurus PVC diukur**

Q (lpm)	Pengukur an 1 (mm)	Pengukur an 2 (mm)	Pengukur an 3 (mm)	Rata-rata (mm)
10	3,8	4,1	3,7	3,9
15	7,6	8,1	7,4	7,7
20	13,2	13,7	13,0	13,3
25	19,8	20,8	19,7	20,1
30	28,1	28,9	27,6	28,2
35	36,5	38,5	35,7	36,9

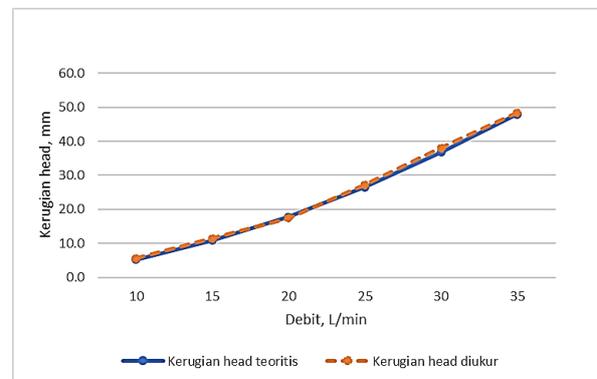
Hasil penghitungan teoritis dan pengukuran dibandingkan untuk melihat kedekatan antara keduanya. Perbandingan keduanya diperlihatkan pada tabel 4.

**Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran kerugian *head* pipa lurus**

Q (lpm)	Kerugian teoritis (mm)	Kerugian diukur (mm)	Selisih (mm)	Kesamaan (%)
10	5,3	5,7	0,4	93,02
15	10,9	11,5	0,5	95,20
20	17,7	17,4	0,3	98,41
25	26,6	27,2	0,6	97,72
30	36,7	38,0	1,3	96,55
35	47,9	48,3	0,5	99,03

Perbandingan hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran kerugian *head* pipa lurus yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan kedekatan keduanya di atas 90%.

Kesamaan kecenderungan antara hasil perhitungan teoritis dan pengukuran juga dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5. Perbandingan kecenderungan perhitungan teoritis dan pengukuran kerugian *head* pada pipa lurus**

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa kecenderungan kurva hasil pengukuran berimpit dengan kecenderungan kurva hasil perhitungan teoritis. Kurva hasil perhitungan teoritis mempunyai kecenderungan kuadratis sebagai hasil dari penggunaan Persamaan (2) dimana kerugian *head* dipengaruhi oleh kuadrat laju aliran. Kerugian *head* yang dapat diukur mempunyai kemiripan kecenderungan dengan hasil perhitungan teoritis. Dengan memperhatikan kesamaan antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengukuran dan kesamaan kecenderungan kurva keduanya, dapat dinyatakan bahwa alat praktikum kerugian tekanan pada pipa lurus ini tepat untuk digunakan sebagai sarana pembelajaran praktikum mahasiswa.

### Fitting lurus.

Sebagaimana analisis pada kerugian tekanan pipa lurus, analisis pada alat praktikum fitting lurus juga menggunakan perbandingan antara kerugian *head* yang dihitung secara teoritis dan kerugian *head* hasil pengukuran.

Kesulitan yang dihadapi adalah tidak adanya informasi tentang faktor  $K$  fitting lurus PVC untuk menghitung kerugian *head* secara teori. Sebagai kompromi digunakan faktor  $K$  fitting union sebesar 0,08 (Munson, Young, &

Okiishi, 2005). Hasil perhitungan kerugian *head* teoritis disajikan pada tabel 5.

**Tabel 5. Kerugian *head* teoritis *fitting* lurus PVC**

$Q$ (lpm)	$V^{1)}$ (m/s)	Kerugian teoritis <sup>2)</sup> (mm)
10	0.3289	0.4
15	0.4934	1.0
20	0.6578	1.8
25	0.8223	2.8
30	0.9868	4.0
35	1.1512	5.4

<sup>1)</sup>Persamaan (1), <sup>2)</sup>Persamaan (4)

Kerugian *head* teoritis akan dibandingkan dengan hasil pengukuran *head* pada Tabel 6 untuk melihat kesamaan keduanya serta melihat seberapa dekat kecenderungan kurva keduanya.

**Tabel 6. Kerugian *head fitting* lurus PVC diukur**

$Q$ (lpm)	Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)	Pengukuran 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Kerugian <i>head</i> <sup>1)</sup> (mm)
10	3,8	4,1	3,7	3,9	0,6
15	7,6	8,1	7,4	7,7	0,9
20	13,2	13,7	13,0	13,3	2,2
25	19,8	20,8	19,7	20,1	3,5
30	28,1	28,5	27,6	28,1	5,1
35	36,5	38,5	35,7	36,9	7,0

<sup>1)</sup>Dikoreksi menggunakan Persamaan (5), Rata-rata dikurangi koreksi Persamaan (5)

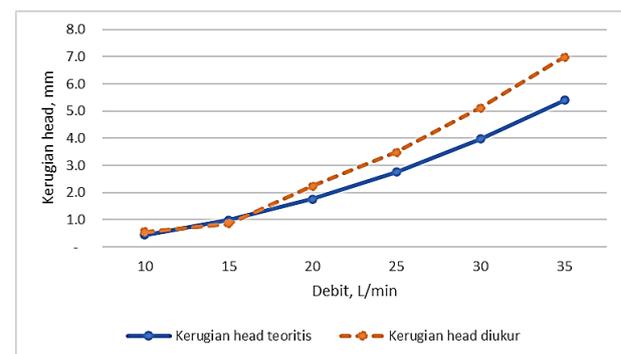
Kesamaan antara hasil pengukuran kerugian *head* dan hasil perhitungan kerugian *head* teoritis *fitting* lurus diperlihatkan pada tabel 7.

**Tabel 7. Perbandingan hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran kerugian *head fitting* lurus**

$Q$ (lpm)	Kerugian teoritis (mm)	Kerugian diukur (mm)	Selisih (mm)	Kesamaan (%)
10	0,4	0,6	0,1	73,97
15	1,0	0,9	0,1	86,80
20	1,8	2,2	0,5	73,73
25	2,8	3,5	0,7	73,83
30	4,0	5,1	1,1	71,32
35	5,4	7,0	1,6	70,81

Perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran menunjukkan kesamaan yang cukup baik yaitu di atas 70%.

Keterbatasan alat ukur jangka sorong dengan ketelitian hanya 0,1 mm dapat menjadi penyebab rendahnya kesamaan ini, mengingat selisih ketinggian kolom air pada manometer sangat kecil, kemudian juga dikoreksi menggunakan Persamaan (5). Kemungkinan lainnya, rendahnya kesamaan antara keduanya disebabkan oleh perbedaan bentuk *fitting* antara *fitting* lurus dan *fitting union*, sehingga faktor  $K$  *fitting union* menggunakan ulir sebesar 0,08 tidak cocok untuk *fitting* lurus PVC yang menggunakan lem. Namun demikian, rendahnya kesamaan ini tidak terlihat pada kecenderungan kurva keduanya sebagaimana terlihat pada gambar 6.



**Gambar 6. Perbandingan kecenderungan perhitungan teoritis dan pengukuran kerugian *head* pada *fitting* lurus**

Kedua kurva mempunyai kecenderungan yang sama sehingga dapat dikatakan bahwa keduanya mempunyai fenomena yang sama dimana semakin tinggi debit (atau laju aliran), semakin besar kerugian *head* yang dialami. Kesamaan kecenderungan juga terlihat pada kurva hasil pengukuran berbentuk lengkung yang menunjukkan garis kuadratik sebagaimana hasil perhitungan teoritis pada Persamaan (2). Jadi dapat dikatakan, alat praktikum uji kerugian tekanan *fitting* lurus ini memadai untuk digunakan dalam pembelajaran praktikum mahasiswa.

### *Fitting elbow*

Kesulitan yang terjadi pada *fitting* lurus juga terjadi pada *fitting elbow* yaitu tidak adanya data faktor  $K$  untuk *fitting elbow* PVC, sehingga digunakan faktor  $K$  *fitting* flens sebesar 0,3 (Munson, Young, & Okiishi, 2005) sebagai kompromi untuk menghitung kerugian *head fitting elbow* PVC. Hasil perhitungan teoritis *fitting elbow* menggunakan Persamaan (4) disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Kerugian *head* teoritis *fitting elbow* PVC

$Q$ (lpm)	$V^1$ (m/s)	Kerugian teoritis <sup>2)</sup> (mm)
10	0,3289	1,7
15	0,4934	3,7
20	0,6578	6,6
25	0,8223	10,3
30	0,9868	14,9
35	1,1512	20,3

<sup>1)</sup>Persamaan (1), <sup>2)</sup>Persamaan (4)

Hasil perhitungan kerugian *head* teoritis ini akan dibandingkan dengan hasil pengukuran kerugian *head* pada Tabel 9.

Tabel 9. Kerugian *head fitting elbow* PVC diukur

$Q$ (lpm)	Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)	Pengukuran 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Kerugian <i>head</i> <sup>1)</sup> (mm)
10	5,0	5,5	3,1	4,5	2,0
15	11,1	9,7	7,7	9,5	4,3
20	17,3	15,7	16,5	16,5	8,1
25	25,8	26,4	25,5	25,9	13,3
30	35,5	36,0	38,0	36,5	19,1
35	43,9	44,5	48,0	45,5	22,7

<sup>1)</sup>Dikoreksi menggunakan Persamaan (5), Rata-rata dikurangi koreksi Persamaan (5)

Perbandingan antara hasil perhitungan kerugian *head* teoritis dan hasil pengukuran kerugian *head fitting elbow* menunjukkan kesamaan yang baik yaitu di atas 70% sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 9. Kesamaan di sekitar 70% ini dapat disebabkan oleh ketelitian alat ukur sebesar 0,1 mm yang tidak dapat mendeteksi pengukuran lebih dari 0,1 mm atau ketidakcocokan harga faktor  $K$  yang bukan untuk *fitting elbow* PVC yang penyambungannya menggunakan lem.

Meskipun kesamaan hasil keduanya sudah baik, perlu dilihat juga kesamaan kecenderungan keduanya. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa kedua kurva mempunyai kemiripan kecenderungan. Pada kurva hasil pengukuran, memiliki bentuk yang sedikit menyimpang dari kurva kuadrat. Meskipun demikian, hal ini tidak mengurangi keandalan alat uji kerugian tekanan ini untuk digunakan dalam pembelajaran praktikum mahasiswa.

Tabel 9. Perbandingan hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran kerugian *head fitting elbow* PVC

$Q$ (lpm)	Kerugian teoritis (mm)	Kerugian diukur (mm)	Selisih (mm)	Kesamaan (%)
10	1,7	2,0	0,4	78,06
15	3,7	4,3	0,6	84,40
20	6,6	8,1	1,5	77,81
25	10,3	13,3	2,9	71,67
30	14,9	19,1	4,2	72,03
35	20,3	22,7	2,5	87,84

## PENUTUP

### Kesimpulan

Alat praktikum uji kerugian tekanan aliran air dalam pipa yang dirancang dapat digunakan untuk pembelajaran praktikum mahasiswa dengan kesamaan di atas 90% dengan hasil perhitungan teoritis untuk kerugian tekanan pipa lurus PVC, dan kesamaan di atas 70% untuk *fitting* lurus dan *fitting elbow*. Kesamaan yang rendah antara hasil perhitungan teoritis *fitting* lurus maupun *fitting elbow* dapat disebabkan karena alat ukur yang digunakan hanya mempunyai ketelitian 0,1 mm sehingga kurang teliti dibanding hasil perhitungan teoritis. Penyebab lainnya adalah harga faktor  $K$  yang tidak sesuai ketika digunakan untuk menghitung kerugian tekanan secara teoritis. Kemiripan kecenderungan kurva hasil perhitungan teoritis dan hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa alat praktikum yang dirancang dapat digunakan untuk praktikum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Darby, R., & Chhabra, R. P. (2017). *Chemical Engineering Fluid Mechanics* (Third ed.). CRC Press.
- Elger, D. F., Leuret, B. A., Rowe, C. T., & Roberson, J. A. (2016). *Engineering Fluid* (11 ed.). Wiley.
- Erwin, Permana, I., & Hayat, M. S. (2018, April). Strategi Evaluasi Program Praktikum Fisika Dasar. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 9(1), 12-20. doi:10.26877/jp2f.v9i1.2308
- Munson, B., Young, D., & Okiishi, T. (2005). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (Fourth ed.). John Wiley & Sons, Inc.

- Pipe Roughness*. (2019). Diambil kembali dari Pipe Flow: <https://www.pipeflow.com/pipe-pressure-drop-calculations/pipe-roughness#:~:text=The%20roughness%20of%20a%20pipe%20is%20normally%20specified,through%20to%203.0%20mm%20for%20rough%20concrete%20pipes.>
- Potter, M. C., & Wiggert, D. C. (2008). *Fluid Mechanics*. McGraw Hill. doi:10.1036/0071487816
- Sugiarto, B., Daryanto, B., Indarto, & Jumiadi. (2005). Standar Minimal Laboratorium Teknik Mesin Program Sarjana. Direktorat Pembinaan Akademik dan Kemahasiswaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.