

## ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP KERUGIAN TEKANAN PADA SALURAN UDARA

Tabah Priangkoso\*, Nasir Kurniawan dan Darmanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

\*Email: tabah@unwahas.ac.id

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menguji kemungkinan alat Praktikum Fenomena Dasar Mesin pada acara Pengujian Kerugian Tekanan pada Aliran Udara dalam Pipa (ducting). Alat praktikum ini dibuat di Laboratorium Energi untuk melengkapi acara Praktikum Fenomena Dasar Mesin. Pengujian dilakukan untuk menganalisis fenomena pengaruh laju aliran udara terhadap kerugian tekanan pada sisi tekan pipa saluran udara. Saluran udara yang diuji berupa pipa panjang 2,00 m dengan ukuran penampang 0,20 x 0,20 m. Pipa dibagi menjadi 8 segmen dimulai dari jarak 20,0 cm dari ujung masuk udara. Masing-masing segmen memiliki panjang 20,0 cm. Pada setiap awal dan akhir setiap segmen dipasang manometer U dengan fluida air untuk mengukur perubahan tekanan yang terjadi di sepanjang segmen. Pengujian dilakukan dengan memvariasi laju aliran udara. Aliran udara diciptakan dengan tiupan udara blower dengan laju 9,7m/s, 10,5m/s, 10,7m/s, 11,2m/s, 11,6m/s, 11,8m/s. Pengukuran laju aliran udara menggunakan anemometer dan ketinggian head diukur menggunakan jangka sorong. Alat praktikum ini dapat digunakan secara terbatas untuk menunjukkan adanya kerugian tekanan dalam aliran udara dalam pipa, namun belum dapat digunakan untuk menyajikan fenomena hubungan penurunan tekanan dengan laju aliran. Data yang dihasilkan menunjukkan penurunan tekanan lebih kecil untuk laju aliran yang lebih besar. Dengan demikian, masih diperlukan beberapa perbaikan agar alat praktikum ini dapat berfungsi sebagaimana mestinya, yaitu pada manometer yang digunakan untuk mengukur tekanan.

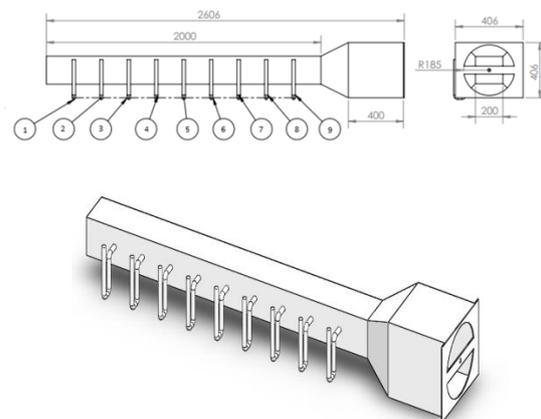
**Kata kunci:** kerugian tekanan, laju aliran, manometer

### PENDAHULUAN

Praktikum Fenomena Dasar Mesin merupakan praktikum yang wajib untuk dilaksanakan pada semua Program Studi Sarjana Teknik Mesin di Indonesia (Sugiarto, Daryanto, Indarto, Jumaidi, Nurhadi, & Suryawan, 2005). Salah satu acara dalam praktikum tersebut adalah Pengujian Kerugian Tekanan pada Aliran Udara dalam Pipa. Pada acara ini, pipa dapat dianggap mewakili saluran udara (duct), baik untuk ventilasi maupun pengkondisian udara.

Penyediaan peralatan untuk acara praktikum ini mengalami kendala karena tidak mudah ditemukan di pasar, sehingga diputuskan untuk dibuat di Laboratorium Energi Universitas Wahid Hasyim.

Peralatan berupa pipa panjang 2,00 m dengan ukuran penampang 0,20 x 0,20 m untuk mewakili saluran udara (Gambar 1).



**Gambar 1** Alat praktikum Pengujian Kerugian Tekanan pada Aliran Udara dalam Pipa

Pipa dibagi menjadi 8 segmen dimulai dari jarak 20,0 cm dari ujung masuk udara. Masing-masing segmen memiliki panjang 20,0 cm. Pada setiap awal dan akhir setiap segmen dipasang manometer U dengan fluida air untuk mengukur perubahan tekanan yang terjadi di sepanjang segmen. Manometer dipasang pada

bagian tengah sisi samping pipa untuk meminimalkan efek gravitasi yang dapat mempengaruhi pengukuran tekanan.

Peralatan ini telah diuji untuk mensimulasi kerugian tekanan pada sisi isap dan telah menunjukkan fenomena yang diharapkan yaitu penurunan tekanan udara di sepanjang pipa pada tekanan negatif atau di bawah tekanan atmosfer (Priangkoso, Kusdi, & Darmanto, 2015).

Penelitian ini menguji kemungkinan penggunaan alat praktikum ini dalam acara Pengujian Kerugian Tekanan pada Aliran Udara dalam Pipa pada sisi tekan. Pada bagian ini, tekanan aliran udara berada di atas tekanan atmosfer.

Kerugian tekanan aliran udara dalam pipa disebabkan oleh gesekan antara udara dengan permukaan dalam pipa yang kemudian muncul dalam persamaan Bernoulli (Wessel, et al., 2001)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} + gh_2 + \Delta P \quad (1)$$

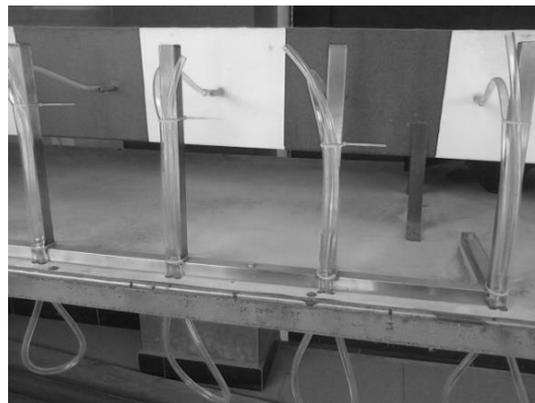
dimana  $P_1$  tekanan pada awal segmen,  $P_2$  tekanan pada akhir segmen dengan laju  $U$  dan  $h$  ketinggian yang sama pada awal dan akhir segmen.  $\Delta P$  adalah kerugian tekanan yang menyebabkan penurunan tekanan dari awal dan akhir segmen.

## METODE

Pengujian dilakukan dengan meniupkan udara menggunakan blower ke dalam pipa. Tekanan yang terjadi di setiap awal dan akhir segmen diukur menggunakan manometer U (Gambar 2) dengan cara mengukur ketinggian muka air dengan tempat pengukuran.

Kerugian tekanan diukur dari selisih ketinggian muka air (*head*) pada awal dan akhir setiap segmen dalam hubungan sesuai persamaan Darcy-Weisbach (Larock, et al., 1999)

$$\Delta h_f = f \frac{L U^2}{D 2g} \quad (2)$$



**Gambar 2** Manometer U dengan fluida air untuk mengukur tekanan aliran udara pada tiap segmen

dimana  $\Delta h_f$  selisih ketinggian muka air antar segmen yang menunjukkan kerugian tekanan dalam m,  $L$  panjang segmen dalam m,  $U$  laju aliran dalam m/s, dan  $D$  diameter hidraulik pipa dalam m.

Kelayakan alat praktikum ini untuk digunakan dalam Praktikum Fenomena Dasar Mesin ditentukan dari kecenderungan turunnya tekanan di sepanjang pipa yang diukur menggunakan manometer U.

Tekanan ukur (statik) dihitung menggunakan persamaan

$$P = \rho g \Delta h \quad (3)$$

dimana  $P$  adalah tekanan dalam Pa,  $\rho$  massa jenis air  $1000 \text{ kg/m}^3$ , dan  $\Delta h$  adalah perbedaan ketinggian permukaan air pada tabung manometer dalam m.

Pengukuran tekanan dilakukan untuk laju aliran udara 9,7 m/s, 10,5 m/s, 10,7 m/s, 11,2 m/s, 11,6 m/s, 11,8m/s untuk mengetahui konsistensi penurunan tekanan sebagai representasi kerugian tekanan.

Laju aliran udara ditentukan menggunakan anemometer, sedangkan ketinggian muka air manometer diukur menggunakan jangka sorong. Tekanan disajikan dalam Pa absolut.

Kerugian tekanan dihitung dengan cara membagi pipa dalam 8 (delapan) segmen, masing-masing segmen dibatasi oleh manometer U. Dengan demikian kerugian tekanan dapat dihitung pada setiap segmen karena manometer mengukur tekanan aliran masuk dan keluar pada tiap segmen. Segmen 1 diawali dari manometer yang paling dekat dengan *inlet* pipa, yaitu pada jarak 0,20 m.

Segmen 2 berjarak 0,40 m dari *inlet*, segmen 3 berjarak 0,60 m, dan seterusnya sampai dengan segmen 8 berjarak 1,80 m dari *inlet*.

Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing laju aliran pada tiap manometer, dan hasilnya ditabelkan sebagai rata-rata tekanan yang diukur pada tiap manometer.

**PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran tekanan yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan adanya penurunan tekanan pada tiap manometer, dimana semakin jauh lokasi alat ukur dari *inlet*, semakin rendah tekanan yang dideteksi manometer seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1 juga menunjukkan bahwa tekanan udara di dalam pipa berada sedikit di atas tekanan atmosfer. Hal ini disebabkan paksaan blower untuk memasukkan udara ke dalam pipa sehingga menyebabkan udara lebih padat.

**Tabel 1 Hasil pengukuran tekanan (Pa) pada lokasi pengukuran manometer diukur dari inlet pipa**

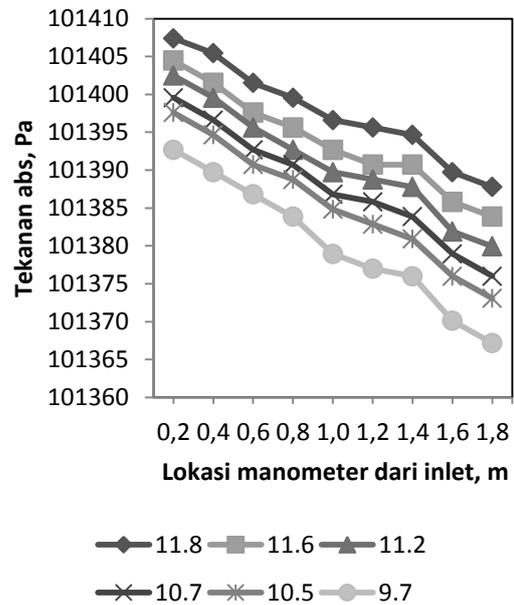
Lokasi manometer (m)	Laju aliran udara (m/s)					
	11,8	11,6	11,2	10,7	10,5	9,7
0,20	101407,4	101404,5	101402,5	101399,6	101397,6	101392,7
0,40	101405,4	101401,5	101399,6	101396,6	101394,7	101389,7
0,60	101401,5	101397,6	101395,6	101392,7	101390,7	101386,8
0,80	101399,6	101395,6	101392,7	101390,7	101388,8	101383,9
1,00	101396,6	101392,7	101389,7	101386,8	101384,8	101379,0
1,20	101395,6	101390,7	101388,8	101385,8	101382,9	101377,0
1,40	101394,7	101390,7	101387,8	101383,9	101380,9	101376,0
1,60	101389,7	101385,8	101381,9	101379,0	101376,0	101370,1
1,80	101387,8	101383,9	101379,9	101376,0	101373,1	101367,2

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada semakin tinggi laju aliran udara, tekanan di dalam pipa juga semakin tinggi pada semua lokasi manometer. Tekanan tertinggi sebesar 8,4 mm dihasilkan oleh aliran udara dengan laju 11,8 m/s dan terendah pada aliran 9,7 m/s dengan tekanan 6,9 mm.

Pada semua laju aliran, terjadi penurunan tekanan di sepanjang pipa. Semakin jauh lokasi manometer dari *inlet* pipa, tekanan yang terukur semakin rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa alat praktikum berhasil menyajikan fenomena penurunan tekanan sebagai bentuk kerugian tekanan aliran udara.

Pada laju-laju yang lebih tinggi, manometer menunjukkan pengukuran tekanan yang lebih tinggi juga. Hal ini disebabkan pada laju yang lebih tinggi jumlah udara yang masuk ke dalam pipa lebih banyak, sehingga lebih padat,

menyebabkan tekanan di dalam pipa lebih tinggi.



**Gambar 1** Hubungan antara hasil pengukuran tekanan dengan lokasi manometer pada laju aliran udara 9, 7m/s, 10,5 m/s, 10,7 m/s, 11,2 m/s, 11,6 m/s, 11,8m/s

Pemeriksaan terhadap kerugian tekanan digunakan untuk sebagai pedoman bagi pembimbing atau asisten praktikum dalam menjalankan tugasnya. Penurunan tekanan pada tiap segmen dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Kerugian tekanan pada tiap segmen pipa (Pa/m)

Segmen	Laju aliran udara (m/s)						Rerata
	11.8	11.6	11.2	10.7	10.5	9.7	
1	9.8	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	11.9
2	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	14.7	16.8
3	9.8	9.8	14.7	9.8	9.8	14.7	9.5
4	14.7	14.7	14.7	19.6	19.6	24.5	14.7
5	4.9	9.8	4.9	4.9	9.8	9.8	6.0
6	4.9	0.0	4.9	9.8	9.8	4.9	5.1
7	24.5	24.5	29.4	24.5	24.5	29.4	22.2
8	9.8	9.8	9.8	14.7	14.7	14.7	10.3
Rerata	12.3	12.9	14.1	14.7	15.3	15.9	

Kerugian tekanan yang timbul pada tiap segmen berada di atas rata-rata dibanding standar ASHRAE (Wessel, Claridge, Kohloss, Rock, Underwood, & Woodford, 2001). Hal ini disebabkan pembuatan pipa tidak dilakukan dengan hati-hati. Permukaan dalam pipa tidak dihaluskan terlebih dahulu sehingga sesuai dengan kondisi *duct* yang sebenarnya.

Pengamatan pada bagian dalam pipa memperlihatkan bahwa pipa dilapisi cat anti karat untuk melindungi pelat baja dari pengkaratan. Hal ini menyebabkan besarnya kekasaran permukaan dalam pipa yang berakibat membesarnya kerugian tekanan aliran udara dalam pipa.

Kelemahan lain dari alat praktikum ini adalah pengukuran tinggi manometer U menggunakan jangka sorong. Meskipun jangka sorong mampu memberikan ketelitian pengukuran hingga 0,1 mm, tetapi masih harus mengandalkan mata manusia yang sangat terbatas kemampuannya. Kesalahan pengukuran dapat timbul karena efek cahaya mengingot manometer U menggunakan pipa plastik tembus cahaya.

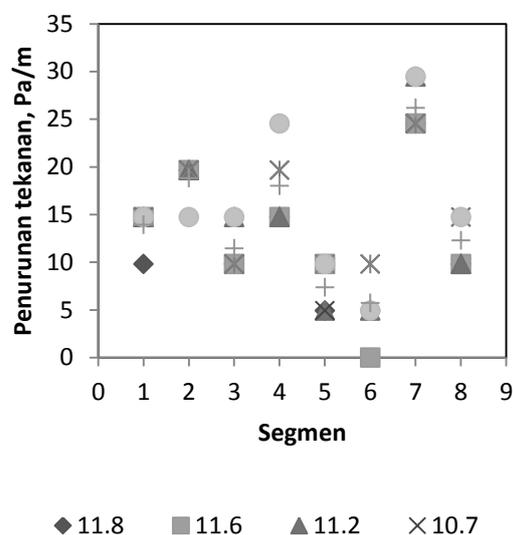
Kesalahan pengukuran yang mungkin terjadi dapat dideteksi dari rerata penurunan tekanan pada tiap laju aliran. Seharusnya, penurunan tekanan terjadi lebih besar pada laju aliran lebih tinggi dibanding kerugian tekanan pada laju yang lebih rendah. Pada Tabel 2 misalnya, dapat dilihat jika pada segmen 1, penurunan tekanan pada laju 11,8 m/s sebesar 9,8 Pa/m lebih rendah dibanding dengan laju aliran 11,6 m dengan penurunan tekanan 14,7 Pa/m. Hal ini terjadi di semua segmen.

Pengukuran penurunan tekanan terendah terjadi pada segmen 5 dan 6 sebesar rata-rata 6,0 Pa/m dan 5,1 Pa/m. Ini menunjukkan bahwa permukaan dalam pipa pada segmen 5 dan 6 lebih halus dibanding segmen lainnya. Tetapi, pada kedua segmen ini juga menunjukkan kesalahan pengukuran, karena penurunan tekanan lebih rendah pada laju aliran yang lebih tinggi.

Pada alat praktikum ini, fenomena penurunan tekanan sebagai representasi dari kerugian tekanan aliran udara dalam pipa belum tersajikan dengan baik, karena penurunan tekanan yang semestinya semakin besar pada laju yang lebih besar justru tercatat sebaliknya. Penyebab utama tidak tersajikannya fenomena ini adalah ketidaktepatan pengukuran tekanan dalam menggunakan manometer U dan jangka sorong.

Selain itu, pemasangan pipa manometer pada sisi dalam pipa tidak rata dengan permukaan dalam pipa, menonjol dari sisi dalam pipa. Hal ini menyebabkan hasil pengukuran manometer menjadi membesar karena kecepatan aliran membesar pada daerah yang mendekati sumbu pipa.

Penurunan tekanan yang tidak teratur dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa penurunan tekanan pada tiap-tiap segmen tidak sama dan pada laju aliran yang lebih tinggi justru penurunan tekanannya lebih rendah.



**Gambar 2** Penurunan tekanan pada tiap segmen untuk laju aliran udara 9, 7m/s, 10,5 m/s, 10,7 m/s, 11,2 m/s, 11,6 m/s, 11,8m/s

Menggunakan persamaan (1), seharusnya penurunan tekanan merupakan kuadrat dari laju aliran, sehingga Gambar 1 seharusnya membentuk kurva persamaan kuadrat. Pada kenyataannya, kurva cenderung linear dan tidak menggambarkan fenomena yang sebenarnya.

Sebagai alat praktikum, alat ini dapat digunakan secara terbatas untuk menunjukkan adanya penurunan tekanan aliran sebagai kerugian tekanan aliran udara dalam pipa, tetapi tidak dapat digunakan untuk menyajikan fenomena penurunan tekanan sebagai fungsi kuadrat laju aliran.

Pengembangan lebih lanjut diperlukan agar alat praktikum ini mampu menunjukkan fenomena yang dikehendaki yaitu penurunan tekanan sebagai fungsi kuadrat laju aliran. Pengembangan utama yang diperlukan adalah pengukuran yang lebih teliti tekanan pada tiap-tiap titik manometer. Perbaikan dapat dilakukan dengan membuat miring pipa transparan manometer sehingga lebih mudah diukur. Perbaikan lainnya adalah memperbaiki sambungan pipa manometer pada bagian dalam pipa, yaitu dengan meratakan sambungan pipa dengan dinding dalam pipa.

## KESIMPULAN

Alat praktikum Pengujian Kerugian Tekanan pada Aliran Udara dalam Pipa yang tersedia dapat digunakan sebagai alat praktikum secara terbatas, yaitu untuk menunjukkan adanya kerugian tekanan pada aliran udara dalam pipa (duct). Namun demikian, alat praktikum ini tidak dapat digunakan untuk menunjukkan fenomena hubungan penurunan tekanan sebagai fungsi kuadrat laju aliran. Hal ini terjadi karena pengukuran yang tidak tepat dan kesalahan pemasangan pipa manometer pada bagian dalam pipa udara.

## SARAN

Perbaikan perlu dilakukan pada bagian manometer, yaitu dengan memasang miring pipa transparan sehingga mempermudah pengukuran. Perbaikan lainnya adalah meratakan tonjolan pipa manometer pada dinding dalam pipa udara sehingga tekanan statik yang diukur benar-benar pada permukaan dinding dalam pipa udara.

## DAFTAR PUSTAKA

- Larock, B. E., Jeppson, R. W., & Watters, G. Z. 1999. *Hydraulics of Pipe Line System*. London: CRC.
- Priangkoso, T., Kusdi, & Darmanto. 2015, Oktober. Perancangan Alat Praktikum Pengujian Kerugian Tekanan Aliran Udara dalam Pipa. *MOMENTUM*, 11(2), 110-113.
- Sugiarto, B., Daryanto, B., Indarto, Jumaidi, Nurhadi, I., & Suryawan, B. 2005. Standar Minimum Laboratorium Teknik Mesin Program Sarjana. Jakarta: Direktorat Pembinaan Akademik dan Kemahasiswaan Ditjen Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
- Wessel, D. J., Claridge, D. E., Kohloss, F. H., Rock, B. A., Underwood, T. D., & Woodford, M. W. 2001. *ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)*. ASHRAE.