

Analisis Distribusi Tekanan dan Jenis Aliran pada Pipa Akrilik dan PVC (Uji Laboratorium)

Ahmad Yudhi Yansyah^{*1} | Farida Gaffar² | Muh. Amir Zainuddin³

1 Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia.
ahmadyudhi359@gmail.com

2 Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia.
gaffarfarida970@yahoo.com
amirzainuddin20@yahoo.com

Korespondensi:

*Ahmad Yudhi Yansyah:
ahmadyudhi359@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tekanan dan karakteristik jenis aliran pada pipa akrilik dan pipa PVC melalui pengujian laboratorium menggunakan *Fluid Friction Apparatus*. Pengamatan dilakukan pada dua model pipa, yaitu pipa akrilik lurus berdiameter 2,06 cm dan pipa PVC dengan perubahan penampang dari 1,66 cm menjadi 2,06 cm. Data yang diperoleh meliputi debit aliran, tekanan statis, tekanan dinamis, kecepatan aliran, viskositas kinematik, serta bilangan *Reynolds*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran menyebabkan kenaikan tekanan statis dan tekanan dinamis pada kedua jenis pipa. Pada pipa PVC dengan pembesaran penampang, tekanan statis meningkat pada penampang yang lebih besar akibat penurunan kecepatan aliran, sedangkan tekanan dinamis lebih tinggi pada penampang yang lebih kecil. Analisis bilangan *Reynolds* menunjukkan perubahan pola aliran dari laminar menuju turbulen seiring meningkatnya debit. Secara umum, pipa akrilik menunjukkan distribusi tekanan yang lebih stabil dibandingkan pipa PVC karena tingkat kekasaran permukaannya lebih rendah, sehingga lebih mendukung aliran yang lebih teratur.

Kata Kunci:

Distribusi Tekanan, Jenis Aliran, Pipa Akrilik, Pipa PVC, Bilangan *Reynolds*.

ABSTRACT

This study aims to analyze the pressure distribution and flow characteristics in acrylic and PVC pipes through laboratory testing using a Fluid Friction Apparatus. Observations were conducted on two pipe models, namely a straight acrylic pipe with a diameter of 2.06 cm and a PVC pipe with a cross-sectional change from 1.66 cm to 2.06 cm. The collected data include flow discharge, static pressure, dynamic pressure, flow velocity, kinematic viscosity, and Reynolds number. The results show that an increase in flow discharge leads to an increase in both static and dynamic pressures in the two types of pipes. In the PVC pipe with an enlarged cross-section, static pressure increases in the larger section due to the decrease in flow velocity, while dynamic pressure is higher in the smaller section. The Reynolds number analysis indicates a transition of flow pattern from laminar to turbulent as the discharge increases. In general, the acrylic pipe shows a more stable pressure distribution compared to the PVC pipe due to its lower surface roughness, which supports a more uniform flow.

Keywords:

pressure distribution, flow type, acrylic pipe, PVC pipe, Reynolds number

1 | PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi teknik, seperti distribusi air bersih, irigasi, industri proses, dan laboratorium hidrolika. Kinerja sistem perpipaan sangat dipengaruhi oleh distribusi tekanan yang terjadi sepanjang aliran fluida di dalam pipa. Distribusi tekanan berhubungan langsung dengan kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa, sehingga menjadi parameter utama dalam perancangan dan evaluasi sistem perpipaan yang efisien (Ahmed et al., 2022). Selain itu, karakteristik aliran fluida yang dinyatakan melalui bilangan *Reynolds* juga menentukan perilaku aliran, apakah berada pada kondisi laminar, transisi, atau turbulen (Papaevangelou et al., 2019).

Kajian mengenai distribusi tekanan dalam aliran pipa terus berkembang karena memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi energi dan performa sistem perpindahan fluida. (Menurut Alazba et al., 2020), kehilangan tekanan yang terjadi sepanjang pipa disebabkan oleh gesekan internal fluida dan interaksi antara fluida dengan permukaan pipa. Semakin besar

kehilangan tekanan yang terjadi, maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan debit aliran. Oleh karena itu, analisis distribusi tekanan menjadi langkah penting dalam memahami perilaku aliran di dalam sistem perpipaan.

Jenis material pipa merupakan salah satu faktor yang memengaruhi distribusi tekanan dan kerugian energi aliran. (Demirpolat dan Aliç, E.,2020) menjelaskan bahwa setiap material pipa memiliki karakteristik permukaan dan sifat mekanik yang berbeda sehingga menghasilkan nilai penurunan tekanan yang berbeda pula. Material yang umum digunakan dalam sistem perpipaan laboratorium adalah pipa akrilik dan PVC. Pipa akrilik memiliki sifat transparan sehingga memungkinkan pengamatan visual terhadap pola aliran, sedangkan pipa PVC banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang baik, biaya yang relatif rendah, serta kemudahan instalasi (Kassim et al., 2019).

Penelitian mengenai aliran dalam pipa PVC menunjukkan bahwa kondisi permukaan pipa berpengaruh terhadap karakteristik aliran turbulen dan kehilangan energi. (Carvajal et al.,2020) menemukan bahwa aliran turbulen pada pipa PVC memberikan pola distribusi tekanan yang berbeda dibandingkan dengan asumsi teoritis klasik, terutama pada kondisi operasi sistem distribusi air. Temuan tersebut menunjukkan pentingnya pengujian eksperimental untuk memperoleh data distribusi tekanan yang lebih representatif terhadap kondisi nyata.

Di sisi lain, pipa akrilik sering digunakan dalam penelitian hidrolika karena kemampuannya memperlihatkan fenomena aliran secara langsung. Penelitian (Nashirudin et al.,2025) menunjukkan bahwa perubahan bilangan *Reynolds* pada aliran dalam pipa akrilik memberikan pengaruh signifikan terhadap faktor gesekan dan transisi aliran dari kondisi laminar menuju turbulen. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa pipa akrilik dapat digunakan sebagai media yang efektif untuk mengamati perubahan karakteristik aliran akibat variasi debit.

Karakteristik aliran dalam pipa umumnya diklasifikasikan berdasarkan bilangan *Reynolds*. Menurut (Mukund dan Hof 2017), aliran laminar terjadi pada bilangan *Reynolds* rendah ketika partikel fluida bergerak secara teratur dalam lapisan-lapisan sejajar. Seiring meningkatnya bilangan *Reynolds*, aliran memasuki daerah transisi sebelum akhirnya berubah menjadi turbulen yang ditandai oleh fluktuasi kecepatan dan tekanan yang kompleks. Fenomena transisi tersebut menjadi salah satu topik penting dalam mekanika fluida karena berpengaruh langsung terhadap kehilangan energi dalam sistem perpipaan.

Kajian mengenai transisi menuju turbulensi juga dijelaskan oleh (Eckert.,2021) yang menyatakan bahwa aliran pipa merupakan model dasar untuk memahami perkembangan turbulensi pada sistem fluida. Turbulensi menyebabkan peningkatan gesekan antara fluida dan dinding pipa sehingga distribusi tekanan mengalami perubahan yang lebih besar dibandingkan kondisi laminar. Oleh karena itu, identifikasi jenis aliran berdasarkan bilangan *Reynolds* menjadi langkah penting dalam analisis distribusi tekanan.

Hubungan antara turbulensi dan faktor gesekan telah banyak diteliti dalam beberapa dekade terakhir. (Basse.,2016) menunjukkan bahwa intensitas turbulensi memiliki korelasi langsung dengan faktor gesekan pada aliran dalam pipa halus maupun kasar. Ketika intensitas turbulensi meningkat, kehilangan energi akibat gesekan juga meningkat sehingga gradien tekanan sepanjang pipa menjadi lebih besar. Temuan ini memperkuat pentingnya pengukuran tekanan sebagai indikator karakteristik aliran.

Selain dipengaruhi oleh jenis aliran, distribusi tekanan juga dipengaruhi oleh kekasaran permukaan pipa. (Senturk dan Smits.,2019) menemukan bahwa bahkan pada kondisi aliran laminar, kekasaran permukaan dapat memberikan perubahan terhadap profil kecepatan dan distribusi tekanan. Oleh karena itu, perbedaan karakteristik permukaan antara pipa akrilik dan PVC berpotensi menghasilkan perilaku aliran yang berbeda meskipun digunakan pada kondisi operasi yang sama.

Faktor gesekan merupakan parameter utama dalam perhitungan kehilangan tekanan. (Ahmed et al.,2022) menjelaskan bahwa nilai faktor gesekan bergantung pada bilangan *Reynolds* dan kondisi permukaan pipa. Untuk memperkirakan faktor gesekan pada berbagai kondisi aliran, (Papaevangelou et al.,2019) mengembangkan persamaan eksplisit yang dapat digunakan pada daerah aliran laminar, transisi, maupun turbulen. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan jenis aliran akan memengaruhi distribusi tekanan secara signifikan.

Penelitian mengenai pengurangan hambatan aliran juga menunjukkan pentingnya pengaruh bilangan *Reynolds* terhadap karakteristik tekanan. (Coxe et al.,2023) melaporkan bahwa variasi bilangan *Reynolds* menghasilkan perubahan tingkat drag reduction pada aliran pipa sehingga memengaruhi distribusi tekanan sepanjang saluran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa analisis *Reynolds* tidak hanya digunakan untuk menentukan jenis aliran, tetapi juga untuk mengevaluasi efisiensi sistem perpipaan.

Dalam sistem perpipaan nyata, perubahan tekanan sering kali digunakan sebagai indikator performa hidrolis. (Ferraiuolo et al.,2020) menggunakan distribusi tekanan pada pipa PVC-A untuk mengevaluasi kebocoran dan kondisi operasional sistem distribusi air. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis tekanan mampu memberikan informasi penting mengenai kondisi aliran dan efisiensi jaringan perpipaan.

Selain itu, pengukuran koefisien debit pada pipa PVC yang dilakukan oleh (Hotupan et al.,2020) menunjukkan bahwa perubahan kondisi aliran berpengaruh terhadap karakteristik hidrolis sistem. Hubungan antara debit, kecepatan aliran, dan distribusi tekanan menjadi dasar dalam analisis mekanika fluida eksperimental. Oleh karena itu, pengujian laboratorium diperlukan untuk memperoleh data empiris yang dapat digunakan dalam memvalidasi teori aliran pipa.

Fenomena distribusi tekanan juga berkaitan erat dengan perilaku tegangan *Reynolds* pada aliran turbulen. (Panda.,2020) menjelaskan bahwa fluktuasi kecepatan dalam aliran turbulen menghasilkan distribusi tegangan yang kompleks dan berpengaruh terhadap penurunan tekanan sepanjang pipa. Kondisi tersebut menyebabkan analisis aliran turbulen menjadi lebih menantang dibandingkan aliran laminar.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa distribusi tekanan dipengaruhi oleh faktor gesekan, material pipa, kekasaran permukaan, debit aliran, serta jenis aliran yang ditentukan oleh bilangan *Reynolds*. Namun, kajian yang membandingkan distribusi tekanan dan karakteristik aliran pada pipa akrilik dan PVC melalui pengujian laboratorium masih relatif terbatas. Padahal kedua jenis pipa tersebut banyak digunakan dalam penelitian dan aplikasi teknik.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis distribusi tekanan dan jenis aliran pada pipa akrilik dan PVC melalui pengujian laboratorium menggunakan *Fluid Friction Apparatus*. Analisis dilakukan berdasarkan pengukuran tekanan pada beberapa titik sepanjang pipa dan perhitungan bilangan *Reynolds* untuk menentukan jenis aliran yang terjadi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh material pipa terhadap distribusi tekanan serta karakteristik aliran, sehingga dapat menjadi referensi dalam perancangan dan pengembangan sistem perpipaan yang lebih efisien.

2 | METODE

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif karena merupakan salah satu jenis penelitian yang terperinci, sistematis, dan terstruktur. Metode penelitian ini memfokuskan pada penggunaan angka. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan tabel, grafik, dan diagram sebagai untuk menunjukkan hasil data yang didapat. Pada penelitian ini akan menggunakan data primer yakni data yang diteliti langsung dari Laboratorium Hidrolika dengan menggunakan alat uji aparatus perpipaan. Dimana data primer adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti secara langsung dari sumber datanya. Data primer disebut juga sebagai data asli atau data baru yang memiliki sifat *up to date*.

2.1 | Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar. Pengujian dilakukan menggunakan *Fluid Friction Apparatus* sebagai alat utama dalam pengukuran distribusi tekanan dan analisis aliran pada pipa akrilik dan pipa PVC. Waktu penelitian mencakup tahap persiapan, pengujian, dan analisis data.

2.2 | Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui pengujian laboratorium dan literatur pendukung. Kedua jenis data ini digunakan untuk menganalisis distribusi tekanan dan menentukan jenis aliran pada pipa akrilik dan PVC

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui proses pengujian menggunakan *Fluid Friction Apparatus* di Laboratorium Hidraulika. Data primer yang dikumpulkan meliputi:

- Data tekanan statis dan dinamis
- Data debit aliran (Q)
- Data kecepatan aliran (V)
- Data temperatur air
- Observasi kondisi aliran

Data primer ini menjadi dasar utama dalam perhitungan kehilangan energi, distribusi tekanan, dan nilai bilangan *Reynolds*.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari literatur, dokumen teknis, dan standar terkait. Data ini digunakan untuk memperkuat analisis dan memperjelas parameter perhitungan. Data sekunder yang digunakan meliputi:

- Sifat fisik fluida (air)
- Dimensi teknis pipa akrilik dan PVC
- Manual dan spesifikasi alat *Fluid Friction Apparatus*
- Teori dasar hidraulika dan *mekanika fluida*
- Dokumen pendukung laboratorium

Data sekunder ini berfungsi sebagai parameter referensi dalam analisis jenis aliran dan perhitungan distribusi tekanan untuk masing-masing jenis pipa.

2.3 | Variabel Penelitian

- Variabel bebas (*Independent Variables*), yaitu laju alir fluida (Debit Q) dan jenis pipa
- Variabel Terikat (*Dependent Variables*), yaitu distribusi tekanan, kehilangan tekanan (*pressure drop, ΔP*) / kehilangan head (*head loss, h_f*)
- Variabel Terkontrol (*Controlled Variables*), yaitu diameter pipa (d), panjang segmen pengukuran pipa (l), jenis fluida dan suhu fluida.

3 | HASIL

Data yang diperoleh dari pengamatan menggunakan alat *fluid friction apparatus* meliputi debit aliran (Q), diameter pipa (d), panjang pipa yang diuji (l), luas penampang *reservoir* (V), suhu air di dalam *reservoir* (°C), serta tekanan yang tercatat pada manometer borden (Pa dan Pb).

3.1 | Data Pengamatan

Dari hasil data-data pengamatan dengan menggunakan alat *Fluid Friction Apparatus*, didapatkan hasil berupa data tekanan dan karakteristik aliran yang mengalir dalam pipa lurus dan yang mengalami pembesaran penampang. Sebelum dilakukan proses perhitungan, langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengubah data dengan satuan yang berbeda agar seragam. Misalnya, data debit dikonversi dari m³/jam menjadi cm³/detik, sedangkan data *viskositas kinematik* diubah dari m²/detik menjadi cm²/detik. Setelah satuannya dikonversi, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan luas penampang baik itu pipa akrilik lurus dengan diameter 2,06 dan pipa pvc pembesaran penampang dengan diameter 1,66 dan 2,06 cm.

1. Perhitungan Luas Penampang

TABEL 1 Hasil Perhitungan Luas Penampang Pipa Akrilik Diameter 2,06

No	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)
1	166,67	3,33	3,33
	166,67	3,33	3,33
	166,67	3,33	3,33
2	222,23	3,33	3,33
	222,23	3,33	3,33
	222,23	3,33	3,33
3	277,73	3,33	3,33
	277,73	3,33	3,33
	277,73	3,33	3,33
4	333,34	3,33	3,33
	333,34	3,33	3,33
	333,34	3,33	3,33

Perhitungan luas penampang menggunakan persamaan {4} yaitu nilai $\frac{1}{4}$ dan $(\pi) = 3,14$ dari rumus luas lingkaran sedangkan nilai (D) = 2,06 diambil dari diameter pipa yang diuji.

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 2,06^2$$

$$A = 3,33 \text{ cm}^2$$

TABEL 2 Hasil Perhitungan Luas Penampang Pipa PVC Diameter 1,66 dan 2,06

No	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)
1	166,67	2,16	3,33
	166,67	2,16	3,33
	166,67	2,16	3,33
2	222,23	2,16	3,33
	222,23	2,16	3,33
	222,23	2,16	3,33
3	277,73	2,16	3,33
	277,73	2,16	3,33
	277,73	2,16	3,33
4	333,34	2,16	3,33
	333,34	2,16	3,33
	333,34	2,16	3,33

Perhitungan luas penampang menggunakan persamaan {4} yaitu nilai $1/4$ dan $(\pi) = 3,14$ dari rumus luas lingkaran sedangkan nilai $(D) = 1,66$ dan $2,06$ diambil dari diameter pipa yang diuji

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,66^2$$

$$A = 2,16 \text{ cm}^2$$

2. Kecepatan Air Dalam Pipa

TABEL 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Pada Pipa Akrilik Lurus

No	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/det)	Vb (cm/det)
1	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03
	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03
	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03
2	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71
	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71
	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71
3	277,73	3,33	3,33	83,39	83,39
	277,73	3,33	3,33	83,39	83,39
	277,73	3,33	3,33	83,39	83,39
4	333,34	3,33	3,33	100,06	100,06
	333,34	3,33	3,33	100,06	100,06
	333,34	3,33	3,33	100,06	100,06

Perhitungan kecepatan aliran dalam pipa menggunakan persamaan {3}. yaitu nilai $(Q) = 166,67$ diambil dari debit pada percobaan pertama dan nilai $(A) = 3,33$ diambil pada perhitungan luas penampang diameter 2,06. Sehingga didapatkan nilai dari kecepatan (V)

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{166,67}{3,33}$$

$$V = 50,03 \text{ cm/det.}$$

TABEL 4 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Pada Pipa Pvc Pembesaran Penampang Diameter 1,66 Dan 2,06 Cm

No	Q (cm ³ /det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/dt)	vb (cm/dt)
1	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03
2	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71
3	277,73	2,16	3,33	128,42	83,39
	277,73	2,16	3,33	128,42	83,39
	277,73	2,16	3,33	128,42	83,39
4	333,34	2,16	3,33	154,1	100,06
	333,34	2,16	3,33	154,1	100,06
	333,34	2,16	3,33	154,1	100,06

Perhitungan kecepatan aliran dalam pipa menggunakan persamaan {3}. Yaitu nilai (Q) = 166,67 diambil dari debit pada percobaan pertama dan nilai (A) = 2,16 dan 3,33 diambil pada perhitungan luas penampang diameter 1,66 dan 2,06. Sehingga didapatkan nilai dari kecepatan (V)

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{166,67}{2,16}$$

$$V = 77,05 \text{ cm/det}$$

3. Perhitungan Kehilangan energi

TABEL 5 Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Pada Pipa Lurus Akrilik

No.	Q	Aa	Ab	va	vb	k	hf	
							a	b
	(cm/det)	(cm ²)	(cm ²)	(cm/det)	(cm/det)	(cm)	(cm)	(cm)
1	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5
	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5
	166,67	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5
2	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7
	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7
	222,23	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7
3	277,78	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3
	277,78	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3
	277,78	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3
4	333,34	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1
	333,34	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1
	333,34	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1

Perhitungan Kehilangan energi dalam pipa menggunakan persamaan {2}. Yaitu nilai kekasaran pipa (f) = 0,015, panjang pipa (L) = 165 cm, diameter pipa (D) = 2,06 kecepatan aliran (V) = 50,03 dan gravitasi (g) = 981 sehingga mendapatkan kehilangan energi (hf)

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$hf = 0,015 \cdot \frac{165}{2,06} \cdot \frac{50,03^2}{2 \times 981}$$

$$hf = 1,5 \text{ cm}$$

TABEL 6 Hasil Perhitungan Kehilangan Energi Pada PVC Pembesaran

No.	Q (cm/det)	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/det)	vb (cm/det)	k (cm)	hf (cm)	
							a	b
1	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15
	166,67	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15
2	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27
	222,23	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27
3	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43
	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43
	277,78	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43
4	333,34	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61
	333,34	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61
	333,34	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61

Perhitungan Kehilangan energi dalam pipa menggunakan persamaan {2}. Yaitu nilai kekasaran pipa (f) = 0,015, panjang pipa (L) = 17 cm, diameter pipa (D) = 1,66 dan 2,06 kecepatan aliran (V) = 77,05 dan 50,03, gravitasi (g) = 981 sehingga mendapatkan kehilangan energi (hf)

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$hf = 0,015 \cdot \frac{17}{1,66} \cdot \frac{77,05^2}{2 \times 981}$$

$$hf = 0,45 \text{ cm}$$

4. Perhitungan Viskositas Kinematik (ν)

Nilai viskositas kinematik air perlu ditentukan secara tepat karena parameter ini berpengaruh langsung terhadap perhitungan bilangan *reynolds* dan penentuan jenis aliran dalam pipa. Pada suhu 31,5 °C, nilai viskositas tidak terdaftar secara langsung dalam tabel standar, sehingga diperlukan proses interpolasi linear antar dua nilai viskositas pada suhu yang berdekatan. Interpolasi ini menggunakan data viskositas air pada suhu 30 °C dan 40 °C. Kemudian di interpolasikan berdasarkan tabel berikut :

TABEL 7 Viskositas Kinematik Pada Tekanan Atmosfer

Suhu °C	Viskositas Kinematik (cm /det)
0	0,01795
5	0,01519
10	0,01308
20	0,01007
30	0,00804
40	0,00661
50	0,00556
60	0,00477
70	0,00415
80	0,00367
90	0,00328
100	0,00296

Interpolasi :

$$y = y_1 + \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) \times (y_2 - y_1)$$

$$y = 0,00804 + \left(\frac{31,5-30}{40-30}\right) \times (0,00661 - 0,00804)$$

$$y = 0,00804 + \left(\frac{1,5}{10}\right) \times (-0,00144)$$

$$y = 0,00804 - 0,000216$$

$$y = 0,00782 \text{ cm}^2/\text{det}$$

Jadi viskositas kinematik berdasarkan suhu 31,5 °C adalah 0,00782 cm²/det.

5. Bilangan Reynold (Re)

Bilangan reynold dipengaruhi oleh kecepatan aliran, diameter pipa dan viskositas kinematik. Setelah semuanya dihitung selanjutnya dapat dilakukan perhitungan rata-rata dan membuat grafik hubungan antara bilangan reynold dengan kecepatan. Berikut adalah tabel hasil perhitungan sifat-sifat pengaliran dari masing- masing penampang dan grafik hubungan antara bilangan reynold dan kecepatan.

TABEL 8 Hasil Analisa Perhitungan Pada Pipa Akrilik Lurus Diameter 2,06 Cm

No.	Q (cm/det)	Suhu Air °C	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/det)	vb (cm/det)	k (cm)	hf		Viskositas Kinematik (cm /dt)	Re		Jenis Aliran	
								a (cm)	b (cm)		Re a	Re b	Titik a	Titik b
1	166,67	31,5	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5	0,0078255	13170,7	13170,7	Turbulen	Turbulen
	166,67	31,5	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5	0,0078255	13170,7	13170,7	Turbulen	Turbulen
	166,67	31,5	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5	0,0078255	13170,7	13170,7	Turbulen	Turbulen
2	222,23	31,5	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7	0,0078255	17560,9	17560,9	Turbulen	Turbulen
	222,23	31,5	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7	0,0078255	17560,9	17560,9	Turbulen	Turbulen
	222,23	31,5	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7	0,0078255	17560,9	17560,9	Turbulen	Turbulen
3	277,78	31,5	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3	0,0078255	21951,1	21951,1	Turbulen	Turbulen
	277,78	31,5	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3	0,0078255	21951,1	21951,1	Turbulen	Turbulen
	277,78	31,5	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3	0,0078255	21951,1	21951,1	Turbulen	Turbulen
4	333,34	31,5	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1	0,0078255	26341,3	26341,3	Turbulen	Turbulen
	333,34	31,5	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1	0,0078255	26341,3	26341,3	Turbulen	Turbulen
	333,34	31,5	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1	0,0078255	26341,3	26341,3	Turbulen	Turbulen

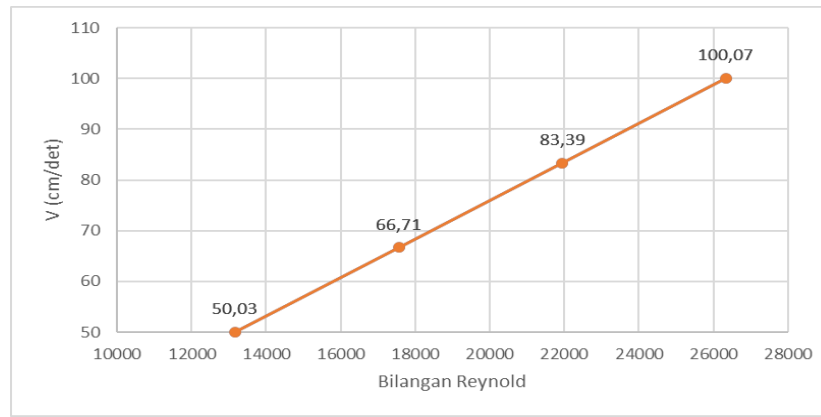
Perhitungan bilangan *reynolds* (Re a) dan (Re b) pada seluruh variasi debit menunjukkan bahwa nilai Re berada jauh di atas batas transisi (Re >4000), sehingga kondisi aliran diklasifikasikan sebagai aliran turbulen pada titik a maupun titik b. Hal ini konsisten dengan kecepatan aliran yang relatif tinggi dan diameter pipa yang kecil, sehingga menghasilkan karakteristik aliran dengan lebih besarnya gaya inersia dibandingkan gaya viskositas.

TABEL 9 Perhitungan Rata – Rata Pipa Akrilik Lurus Diameter 2,06

No.	Q (cm/det)	Suhu Air °C	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	va (cm/det)	vb (cm/det)	k (cm)	hf		Viskositas Kinematik (cm/det)	Re		Jenis Aliran	
								a (cm)	b (cm)		Re a	Re b	Titik a	Titik b
1	166,67	31,5	3,33	3,33	50,03	50,03	0,015	1,5	1,5	0,0078255	13170,7	13170,7	Turbulen	Turbulen
2	222,23	31,5	3,33	3,33	66,71	66,71	0,015	2,7	2,7	0,0078255	17560,9	17560,9	Turbulen	Turbulen
3	277,78	31,5	3,33	3,33	83,39	83,39	0,015	4,3	4,3	0,0078255	21951,1	21951,1	Turbulen	Turbulen
4	333,34	31,5	3,33	3,33	100,07	100,07	0,015	6,1	6,1	0,0078255	26341,3	26341,3	Turbulen	Turbulen

Perhitungan rata-rata dilakukan agar memperoleh nilai yang paling menggambarkan kondisi aliran yang sebenarnya selama proses percobaan . Pada saat pengambilan data, nilai kecepatan aliran, tekanan, atau variabel lainnya dapat mengalami sedikit perubahan akibat fluktuasi aliran, getaran pada alat, atau kesalahan pembacaan. Cara ini bertujuan meminimalkan pengaruh kesalahan pada pengukuran dan memberikan dasar yang lebih kuat dalam melakukan analisis selanjutnya.

GAMBAR 1 Grafik Hubungan Antara Bilangan Reynold Dengan Kecepatan Pada Pipa Akrilik Lurus



Dari grafik dan tabel diatas diambil dari perhitungan rata-rata pada tabel 19 yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan (V) maka semakin tinggi juga bilangan *reynold* (Re) . Hal ini dipengaruhi karena tidak adanya hambatan pada pipa karena model pipanya adalah pipa akrilik lurus, maka dari itu kecepatan berbanding lurus dengan bilangan *reynold*.

TABEL 10 Hasil Analisa Perhitungan Pada Pipa Pvc Pembesaran Penampang Diameter 1,66 Dan 2,06 Cm

No.	Q (cm/det)	Suhu Air °C	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Va (cm/det)	vb (cm/det)	k (cm)	hf		Viskositas Kinematik (cm /det)	Re		Jenis Aliran	
								a (cm)	b (cm)		Re a	Re b	Titik a	Titik b
1	166,67	31,5	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15	0,00783	16344,3	13170,7	Turbulen	Turbulen
	166,67	31,5	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15	0,00783	16344,3	13170,7	Turbulen	Turbulen
	166,67	31,5	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15	0,00783	16344,3	13170,7	Turbulen	Turbulen
2	222,23	31,5	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27	0,00783	21792,4	17560,9	Turbulen	Turbulen
	222,23	31,5	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27	0,00783	21792,4	17560,9	Turbulen	Turbulen
	222,23	31,5	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27	0,00783	21792,4	17560,9	Turbulen	Turbulen
3	277,78	31,5	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43	0,00783	27240,6	21951,1	Turbulen	Turbulen
	277,78	31,5	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43	0,00783	27240,6	21951,1	Turbulen	Turbulen
	277,78	31,5	2,16	3,33	128,41	83,39	0,015	1,25	0,43	0,00783	27240,6	21951,1	Turbulen	Turbulen
4	333,34	31,5	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61	0,00783	32688,7	26341,3	Turbulen	Turbulen
	333,34	31,5	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61	0,00783	32688,7	26341,3	Turbulen	Turbulen
	333,34	31,5	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61	0,00783	32688,7	26341,3	Turbulen	Turbulen

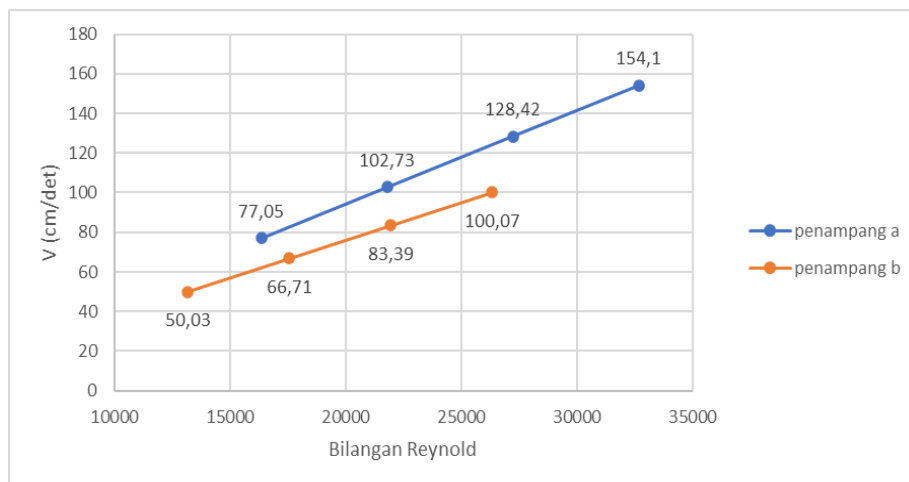
Perhitungan bilangan *reynolds* (Re a) dan (Re b) pada seluruh variasi debit menunjukkan bahwa nilai Re berada jauh di atas batas transisi (Re >4000), sehingga kondisi aliran diklasifikasikan sebagai aliran turbulen pada titik a maupun titik b. Hal ini konsisten dengan kecepatan aliran yang relatif tinggi, diameter pipa yang kecil, juga perubahan diameter pada pipa , sehingga menghasilkan karakteristik aliran dengan lebih besarnya gaya inersia dibandingkan gaya viskositas

TABEL 11 Perhitungan Rata-Rata Pipa PVC Pembesaran Penampang Diameter 1,66 Dan 2,06 Cm

No.	Q (cm/det)	Suhu Air °C	Aa (cm ²)	Ab (cm ²)	Va (cm/det)	vb (cm/det)	k (cm)	hf		Viskositas Kinematik (cm /det)	Re		Jenis Aliran	
								a (cm)	b (cm)		Re a	Re b	Titik a	Titik b
1	166,67	31,5	2,16	3,33	77,05	50,03	0,015	0,45	0,15	0,0078255	16344,35	13170,7	Turbulen	Turbulen
2	222,23	31,5	2,16	3,33	102,73	66,71	0,015	0,80	0,27	0,0078255	21792,79	17560,9	Turbulen	Turbulen
3	277,78	31,5	2,16	3,33	128,42	83,39	0,015	1,25	0,43	0,0078255	27240,25	21951,1	Turbulen	Turbulen
4	333,34	31,5	2,16	3,33	154,1	100,07	0,015	1,80	0,61	0,0078255	32688,7	26341,3	Turbulen	Turbulen

Perhitungan rata-rata dilakukan agar memperoleh nilai yang paling menggambarkan kondisi aliran yang sebenarnya selama proses percobaan . Pada saat pengambilan data, nilai kecepatan aliran, tekanan, atau variabel lainnya dapat mengalami sedikit

perubahan akibat fluktuasi aliran, getaran pada alat, atau kesalahan pembacaan. Cara ini bertujuan meminimalkan pengaruh kesalahan pada pengukuran dan memberikan dasar yang lebih kuat dalam melakukan analisis selanjutnya.



GAMBAR 2 Grafik Hubungan Antara Bilangan Reynold Dengan Kecepatan Pada Pipa PVC Pembesaran Penampang

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kecepatan pada penampang a lebih tinggi dibanding penampang b. Hal ini dipengaruhi oleh diameter pipa pada penampang a lebih kecil dibanding diameter pada penampang b. Meskipun begitu nilai kecepataannya berbanding lurus dengan besar bilangan *reynoldnya*.

Dari percobaan menggunakan alat *Fluid Friction Apparatus*, didapatkan data berupa data debit serta tekanan statis pada manometer air dan tekanan dinamik pada manometer bourden pada masing-masing penampang.

Pada penelitian ini terdapat dua jenis bentuk pipa yang diteliti yaitu pipa akrilik lurus dan pipa pvc yang mengalami pembesaran ukuran penampang . Pada pipa akrilik lurus nilai tekanan dinamik dan tekanan statis yang dimiliki cenderung sama karena ukuran penampang yang sama besar, sedangkan pada pipa pvc yang mengalami pembesaran penampang memiliki nilai tekanan dinamik dan tekanan statis yang berbeda hal ini disebabkan karena ukuran penampang yang mengalami perubahan .

Selain perubahan tekanan, perubahan penampang juga berpengaruh pada perubahan bilangan *reynold*. Pada saat pipa mengalami pembesaran penampang, bilangan *Reynold* semakin menurun, berbanding lurus dengan kecepatan aliran. Sedangkan pada pipa lurus nilai bilangan *Reynold* pada setiap penampang sama besar.

Jenis aliran yang terjadi pada semua penampang adalah jenis aliran turbulen. Dapat kita lihat dari hasil perhitungan bilangan *reynold* yang semuanya menunjukkan angka >4000 . *Osborne Reynolds* menyatakan bahwa aliran laminar dan turbulen bisa ditentukan melalui bilangan *reynolds* (Re), aliran dianggap turbulen jika bilangan *reynolds* melebihi ambang batas tertentu (umumnya sekitar 4000 untuk pipa, meskipun transisi dapat terjadi antara 2000 dan 4000). Penggunaan pipa kecil seringkali memaksa kecepatan yang diperlukan untuk mencapai atau melampaui ambang batas . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Agung Kurnia Yahya dkk 2022) menganalisis tentang *head loss* dan kerja pompa penelitian tersebut menyatakan. *Head loss* yang terjadi pada sistem perpipaan disebabkan karena faktor gesek di sepanjang dinding pipa, pembesaran maupun pengecilan ukuran diameter pipa, dan adanya sambungan yang terdapat pada sistem perpipaan. Semakin kecil ukuran diameter menyebabkan kecepatan fluida meningkat sehingga menyebabkan friksi yang ada dalam pipa semakin besar, hal tersebut menyebabkan *head loss* semakin besar.

4 | KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan *Fluid Friction Apparatus*. Maka dapat disimpulkan beberapa hal di antara lain: Kapasitas aliran sangat berpengaruh terhadap tekanan aliran. Semakin besar kapasitas aliran maka semakin besar pula tekanan yang dihasilkan. Pada pipa lurus tekanan yang dihasilkan cenderung sama karena ukuran penampang yang sama besar, berbeda dengan pipa pada pembesaran penampang tekanan yang dihasilkan cukup berbeda karena ukuran penampangnya yang mengalami perubahan. Sebagai contoh pada pipa lurus dengan debit sebesar 166,67 cm³/det tekanan pada penampang “a” dan “b” yang berdiameter sama 2,06 cm yaitu 150 gram/cm³. pada pipa yang mengalami pembesaran penampang dengan debit sebesar 166,7 cm³/det pada pipa “a” berdiameter 1,66 cm tekanan yang didapatkan yaitu 120 gram/cm³ sedangkan pipa “b” berdiameter 2,06 cm tekanan yang didapatkan yaitu 100 gram/cm³.

Jenis aliran yang dimiliki baik pipa jenis akrilik maupun pvc adalah sama yaitu aliran turbulen karena bilangan reynold yang dimiliki semuanya menunjukkan angka >4000 . Hal ini disebabkan karena aliran yang melewati penampang pipa berdiameter relatif kecil.

Daftar Pustaka

- Ahmed, A. M. A., Seedahmed, A. I., & Ali, T. Y. M. (2022). *Estimate friction factor for polypropylene pipes*. *Engineering and Technology Journal*, 7(9). <https://doi.org/10.47191/etj/v7i9.05>
- Alazba, A. A., Mattar, M. A., ElNesr, M. N., & Amin, M. T. (2020). *Variation of coefficient of friction and friction head losses along a pipe with multiple outlets*. *Water*, 12(3), 844. <https://doi.org/10.3390/w12030844>
- Basse, N. T. (2016). *Turbulence intensity and the friction factor for smooth- and rough-wall pipe flow*. *Fluids* (preprint available at arXiv). <https://arxiv.org/abs/1612.08540>
- Carvajal, J., Zambrano, W., Gómez, N., & Saldarriaga, J. (2020). *Turbulent flow in PVC pipes in water distribution systems*. *Urban Water Journal*, 17(6), 503–511. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1786137>
- Coxe, D., Peet, Y., & Adrian, R. (2023). *Reynolds number effect on drag reduction in pipe flows by a transverse wall oscillation*. *Physics of Fluids* (preprint available at arXiv). <https://arxiv.org/abs/2312.03232>
- Demirpolat, A. B., & Aliç, E. (2020). *Experimental measurement of different pipe material type of time-dependent pressure drop, numerical analysis and classification using ANOVA analysis*. *Gazi University Journal of Science*, 8(4), 783–797. <https://doi.org/10.29109/gujsc.771660>
- Eckert, M. (2021). *Pipe flow: A gateway to turbulence*. *Archive for History of Exact Sciences*, 75, 249–282. <https://doi.org/10.1007/s00407-020-00263-y>
- Ferraiuolo, R., De Paola, F., Fiorillo, D., Caroppi, G., & Pugliese, F. (2020). *Experimental and numerical assessment of water leakages in a PVC-A pipe*. *Water*, 12(6), 1804. <https://doi.org/10.3390/w12061804>
- Hotupan, A., et al. (2020). *Experimental determination of the discharge coefficient through circular orifice in PVC pipes*. *Journal of Applied Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.2478/jaes-2020-0020>
- Kassim, M. S., Radhi, S. K., & Al-Maliki, A. F. H. (2019). *Experimental study of thermal effect on performance of PVC pipes using ANOVA analysis*. *University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.31663/tqujes.10.1.313>
- Mukund, V., & Hof, B. (2017). *The critical point of the transition to turbulence in pipe flow*. *Physical Review Fluids*. Retrieved from arXiv. <https://arxiv.org/abs/1709.06372>
- Nashirudin, H. A., Bakhri, M. S., Haryadi, D., & Sari, S. P. (2025). *Influence of TiO₂ nanofluid concentration on friction factor and Reynolds number in laminar–turbulent flow through acrylic pipes*. *International Journal of Engineering Continuity*, 4(1). <https://doi.org/10.58291/ijec.v4i1.404>
- Papaevangelou, G., Evangelides, C., & Tzimopoulos, C. (2019). *A new explicit friction factor formula for laminar, transition and turbulent flows in smooth and rough pipes*. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 78, 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2019.07.007>
- Panda, J. P. (2020). *A review of pressure strain correlation modeling for Reynolds stress models*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234(8). <https://doi.org/10.1177/0954406219893397>
- Senturk, U., & Smits, A. J. (2019). *Roughness effects in laminar pipe flow*. *Journal of Fluid Mechanics* (preprint version available at arXiv). <https://arxiv.org/abs/1905.12479>