



Analisis Karakteristik Aliran Fluida pada Sambungan Pipa PVC dan Pipa Besi dengan Belokan 90°

Sukmasari Antaria¹, Muh. Amir Zainuddin², Nasrullah^{3*}, Rifky Arramadana⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia

*Email : nsrullahhh5@gmail.com

Abstract: Fluid flow in piping systems with elbow joints often causes changes in flow characteristics that can lead to energy loss, so it is important to analyze this in the design of efficient piping systems. This study aims to analyze the characteristics of fluid flow in PVC and iron pipe joints with a 90° bend. The study was conducted experimentally from November to December 2024 using a fluid friction apparatus to observe the effect of changes in flow rate on pressure and flow velocity inside the pipe. Data were obtained by measuring the pressure upstream and downstream of the bend, then analyzed using the Reynolds number and Froude number approaches. The results showed that the characteristics of the PVC pipe joint 90° with the largest Froude number value of 0.314 while the iron pipe joint 90° with the largest Froude number value of 0.296. An increase in flow rate caused an increase in flow velocity and energy loss due to friction and changes in flow direction. The flow characteristics that occurred were in laminar and subcritical flow conditions. In addition, differences in pipe materials affect flow characteristics, with PVC pipes tending to produce less energy loss than iron pipes. The results of this study are expected to serve as a reference in the analysis and design of piping systems, particularly in the use of 90° bends.

Keywords: Flow characteristics; Pipe bend; PVC pipe; Iron pipe; Reynolds number

1. PENDAHULUAN

Karakteristik aliran (*flow characteristics*) merupakan aspek fundamental dalam kajian mekanika fluida yang digunakan untuk menggambarkan perilaku fluida ketika mengalir melalui suatu sistem perpipaan. Karakteristik ini mencakup parameter hidraulik seperti kecepatan aliran, tekanan, energi aliran serta pola aliran yang terbentuk akibat interaksi antara fluida dan dinding pipa (Triatmojo, 1996). Pemahaman yang baik terhadap karakteristik aliran sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi sistem, kehilangan energi, dan stabilitas operasional instalasi perpipaan, khususnya pada sistem distribusi air dan aplikasi teknik sipil (Kodoatie, 2002).

Pada sistem perpipaan, keberadaan belokan pipa (*pipe bend*), khususnya belokan 90°, merupakan salah satu elemen yang dapat mengubah pola aliran fluida secara signifikan (Mardini, 2022). Belokan pipa menyebabkan terjadinya perubahan arah aliran yang memicu gangguan aliran, peningkatan turbulensi lokal, serta kehilangan energi tambahan (*minor losses*) (Rahayu dkk., 2021). Kondisi ini menjadikan belokan pipa sebagai titik kritis dalam sistem perpipaan, sehingga analisis karakteristik aliran

pada belokan 90° diperlukan untuk memahami dampaknya terhadap kinerja hidraulik secara keseluruhan.

Pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) banyak digunakan dalam sistem perpipaan karena memiliki permukaan relatif halus, bobot ringan, serta ketahanan terhadap korosi. Karakteristik permukaan pipa PVC yang halus cenderung menghasilkan kehilangan energi akibat gesekan yang lebih kecil dibandingkan material logam (Rumaherang dkk., 2023). Oleh karena itu, analisis aliran pada pipa PVC, khususnya pada kondisi belokan, penting untuk mengevaluasi perilaku aliran serta efisiensi hidraulik yang dihasilkan dalam sistem perpipaan skala laboratorium maupun lapangan.

Selain pipa PVC, pipa besi (*iron pipe*) masih banyak digunakan dalam sistem perpipaan karena kekuatan mekanik dan daya tahannya terhadap tekanan tinggi (Narding dkk., 2021). Namun, pipa besi umumnya memiliki tingkat kekasaran permukaan yang lebih besar dibandingkan pipa PVC, sehingga berpotensi meningkatkan gesekan aliran dan kehilangan energi (Junita dkk., 2024). Perbedaan karakteristik material antara pipa PVC dan pipa besi diperkirakan akan memengaruhi pola aliran, terutama pada sambungan belokan 90°, sehingga perlu dilakukan analisis perbandingan karakteristik aliran pada kedua jenis pipa tersebut.

Bilangan Reynolds (*reynolds number*) merupakan parameter tak berdimensi yang digunakan untuk mengklasifikasikan jenis aliran fluida di dalam pipa, apakah bersifat laminar, transisi, atau turbulen (Erizal, 2013). Nilai bilangan Reynolds dipengaruhi oleh kecepatan aliran, diameter pipa, serta viskositas fluida (Triatmodjo, 1993). Dalam analisis karakteristik aliran pada sistem perpipaan, bilangan Reynolds berperan penting dalam menjelaskan perilaku aliran yang terjadi akibat perubahan geometri pipa dan material, khususnya pada belokan 90°.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa aliran fluida pada belokan pipa 90° mengalami perubahan signifikan pada distribusi kecepatan, terbentuknya aliran sekunder, serta peningkatan kehilangan energi seiring bertambahnya bilangan Reynolds (Julian dkk., 2024). Studi numerik dan eksperimental menegaskan bahwa geometri belokan memengaruhi pola aliran dan pressure loss (Zhang dkk., 2022 & Arun dkk., 2020), sementara penelitian pada pipa PVC menunjukkan bahwa kehilangan energi pada belokan masih mengikuti hubungan empiris, meskipun dipengaruhi oleh kondisi material dan geometri pipa (Yogaraja dkk., 2021). Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada variasi sudut belokan, pendekatan numerik, atau satu jenis material pipa saja. Kajian eksperimental yang secara langsung membandingkan karakteristik aliran pada sambungan belokan 90° antara pipa PVC dan pipa besi, khususnya berdasarkan bilangan Reynolds, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut melalui analisis karakteristik aliran pada sambungan pipa PVC dan pipa besi dengan belokan 90°

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran pada sambungan pipa PVC dan pipa besi (*iron pipe*) dengan belokan 90°

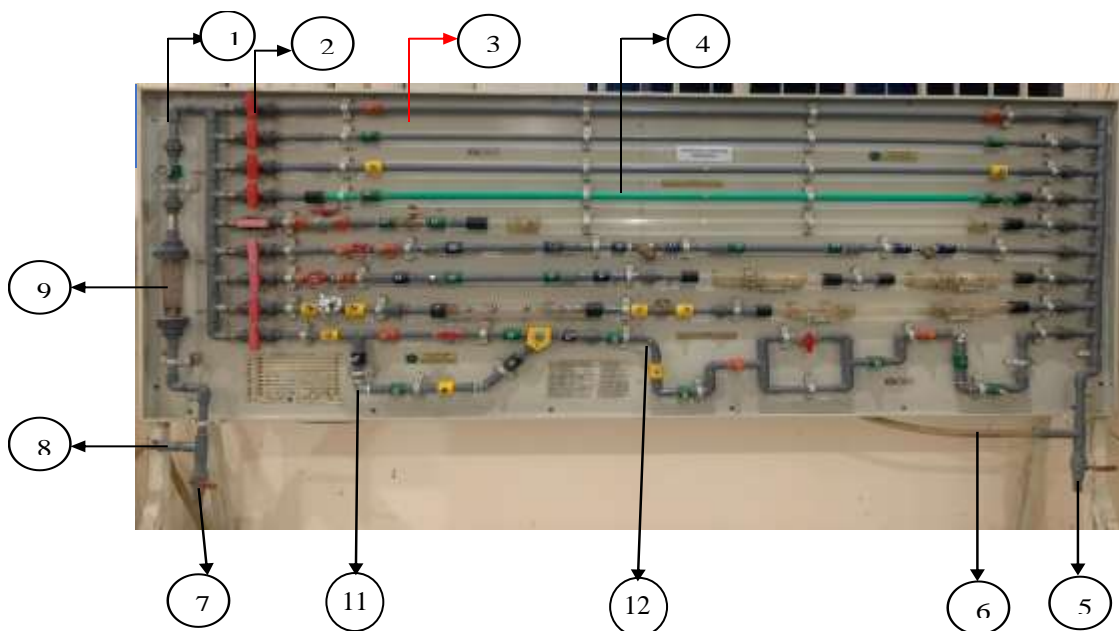
berdasarkan parameter kecepatan aliran dan bilangan Reynolds, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh jenis material pipa terhadap perilaku aliran fluida dalam sistem perpipaan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif, karena seluruh data yang dianalisis berupa data numerik hasil pengukuran langsung di laboratorium. Penelitian eksperimen dilakukan untuk mengamati dan menganalisis karakteristik aliran fluida pada sambungan pipa PVC dan pipa besi (*iron pipe*) dengan belokan 90° berdasarkan parameter hidraulik tertentu. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menghitung nilai kecepatan aliran, bilangan Reynolds, dan bilangan Froude sebagai dasar penentuan karakteristik aliran yang terjadi di dalam pipa.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar. Pengambilan data dilakukan selama dua bulan, yaitu pada November hingga Desember 2024, menggunakan instalasi uji perpipaan skala laboratorium yang dirancang untuk mengamati perilaku aliran fluida pada pipa lurus dan sambungan belokan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui pengujian langsung menggunakan fluid friction apparatus yang terhubung dengan hydraulic bench. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengukur waktu aliran, tinggi tekanan pada manometer (h_a dan h_b), panjang pipa, serta diameter pipa untuk masing-masing jenis material pipa dan sambungan belokan 90°. Setiap pengujian dilakukan secara berulang untuk memperoleh data yang representatif dan mengurangi kesalahan pengukuran.



Gambar 1. Fluid Friction Apparatus

Pada Gambar 1 menunjukkan *fluid friction apparatus* yang digunakan dalam penelitian ini, yang terdiri atas (1) *hydraulic bench*, (2) saluran masuk (*inlet*) fluida, (3) pipa lurus hulu sebelum belokan, (4) sambungan belokan pipa 90°, (5) segmen pipa PVC, (6) segmen pipa besi (*iron pipe*), (7) manometer A sebagai titik pengukuran tekanan di sisi hulu, (8) manometer B sebagai titik pengukuran tekanan di sisi hilir, (9) saluran keluar (*outlet*) fluida, (10) katup pengatur debit aliran, (11) arah aliran fluida dari *inlet* menuju sistem perpipaan, serta (12) arah aliran keluar fluida dari sistem menuju saluran pembuangan.

Data hasil pengukuran dianalisis secara kuantitatif untuk menentukan parameter aliran yang meliputi debit aliran, kecepatan aliran, bilangan Reynolds, dan bilangan Froude. Nilai debit aliran dihitung berdasarkan hasil pengukuran volume dan waktu aliran, kemudian digunakan untuk menentukan kecepatan aliran di dalam pipa. Selanjutnya, bilangan Reynolds digunakan untuk mengklasifikasikan jenis aliran, sedangkan bilangan Froude digunakan untuk menentukan karakteristik aliran berdasarkan pengaruh gaya inersia dan gravitasi (Gaffar dkk., 2024). Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis perbandingan antara pipa PVC dan pipa besi.

Analisis karakteristik aliran dilakukan menggunakan beberapa persamaan dasar mekanika fluida sebagai berikut (Chow, 1992).

2.1. Debit Aliran

Debit aliran dihitung menggunakan persamaan :

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

Dimana Q adalah debit aliran dengan satuan m^3/s , V adalah volume fluida dengan satuan m^3 dan t adalah waktu aliran dengan satuan s.

2.2. Luas Penampang Aliran

Luas penampang aliran dihitung menggunakan persamaan :

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

Dimana A adalah luas penampang pipa dengan satuan m^2 dan D adalah diameter dalam pipa dengan satuan m.

2.3. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dihitung menggunakan persamaan :

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

Dimana v adalah kecepatan aliran dengan satuan m/s , Q adalah debit aliran dengan satuan m^3/s dan A adalah luas penampang pipa dengan satuan m^2 .

2.4. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds dihitung menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

Dimana Re adalah bilangan Reynolds, v adalah kecepatan aliran dengan satuan m/s, D adalah diameter dalam pipa dengan satuan m dan ν adalah viskositas kinematik fluida dengan satuan m^2/s .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Debit Aliran dan Tekanan Diferensial

Tabel 1. Tekanan Diferensial pada Sambungan Pipa PVC 90° Minimal

No	Pembacaan Waktu (det)	Tekanan Diferensial		Panjang Pipa (S) (m)	Diameter Pipa (D) (m)
		Manometer air A h_a (m)	Manometer air B h_b (m)		
1	54	0,31	0,30	1,70	0,0127
2	51	0,33	0,32	1,70	0,0127
3	49	0,34	0,32	1,70	0,0127
4	47	0,35	0,33	1,70	0,0127
5	45	0,35	0,33	1,70	0,0127
6	44	0,35	0,32	1,70	0,0127
7	42	0,36	0,33	1,70	0,0127
8	40	0,37	0,33	1,70	0,0127
9	38	0,38	0,34	1,70	0,0127
10	36	0,38	0,34	1,70	0,0127

Hasil pengujian menunjukkan bahwa debit aliran pada sambungan pipa PVC dan pipa besi dengan belokan 90° bervariasi seiring dengan perubahan waktu aliran dan tinggi tekanan diferensial yang terbaca pada manometer A dan B. Nilai tekanan diferensial tertinggi tercatat pada sisi hulu (manometer A), sedangkan tekanan terendah berada pada sisi hilir (manometer B). Perbedaan tekanan ini mengindikasikan adanya kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa serta perubahan arah aliran pada belokan 90°. Secara umum, semakin kecil waktu pengaliran yang tercatat, semakin besar debit aliran yang dihasilkan, yang menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara waktu dan debit aliran.

3.2. Debit, Kecepatan Aliran dan Elevasi Grafis

Berdasarkan nilai debit aliran yang diperoleh, kecepatan aliran dihitung menggunakan luas penampang pipa. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kecepatan aliran meningkat seiring dengan bertambahnya debit aliran. Nilai kecepatan aliran terbesar diperoleh pada percobaan dengan debit tertinggi, sedangkan nilai terkecil terjadi pada debit terendah. Peningkatan kecepatan aliran ini berpengaruh langsung terhadap elevasi grafis, di mana semakin besar kecepatan aliran, semakin besar pula elevasi grafis yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa energi kinetik fluida meningkat seiring bertambahnya debit aliran pada sistem perpipaan dengan belokan 90°.

Tabel 2. Analisis Kecepatan Aliran dan Elevasi Grafis Sambungan Pipa PVC 90° Minimal

No	Debit Aliran (Q) (m ³ /dtk)	Luas Penampang (A) (m ²)	Kecepatan Aliran (V) (m/dtk)	Hg (h _a -h _b) (m)	Elevasi Grafis (m)	Elevasi Grafis (m)
1	0,0009	0,033	0,030	0,01	0,010	0,010
2	0,0010	0,033	0,031	0,01	0,010	0,020
3	0,0011	0,033	0,032	0,02	0,020	0,030
4	0,0012	0,033	0,034	0,02	0,020	0,030
5	0,0012	0,033	0,035	0,02	0,020	0,040
6	0,0012	0,033	0,037	0,03	0,030	0,040
7	0,0012	0,033	0,039	0,03	0,030	0,040
8	0,0013	0,033	0,040	0,04	0,040	0,040
9	0,0014	0,033	0,043	0,04	0,040	0,050
10	0,0014	0,033	0,045	0,04	0,040	0,050

3.3. Karakteristik Aliran Berdasarkan Bilangan Reynolds

Tabel 3. Karakteristik Aliran Pada Sambungan Pipa PVC 90° Minimal

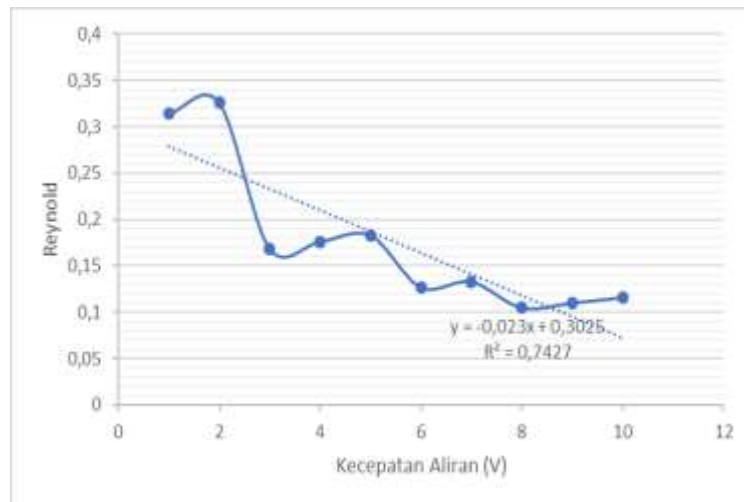
No	Kecepatan Aliran (V) (m/dtk)	Diameter pipa (D) (m)	Viskositas Kinematik (ν)	Reynold (Re)	Froude (Fr)	Keterangan	
						Re	Fr
1	0,030	0,0127	0,802	0,294	0,314	Laminier	subkritis
2	0,031	0,0127	0,802	0,296	0,326	Laminier	subkritis
3	0,032	0,0127	0,802	0,297	0,169	Laminier	subkritis
4	0,034	0,0127	0,802	0,299	0,176	Laminier	subkritis
5	0,035	0,0127	0,802	0,301	0,183	Laminier	subkritis
6	0,037	0,0127	0,802	0,303	0,127	Laminier	subkritis
7	0,039	0,0127	0,802	0,305	0,133	Laminier	subkritis
8	0,040	0,0127	0,802	0,308	0,105	Laminier	subkritis
9	0,043	0,0127	0,802	0,310	0,110	Laminier	subkritis
10	0,045	0,0127	0,802	0,313	0,116	Laminier	subkritis

Analisis karakteristik aliran dilakukan dengan menghitung bilangan Reynolds berdasarkan kecepatan aliran, diameter pipa, dan viskositas kinematik fluida. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai bilangan Reynolds pada seluruh variasi debit aliran berada pada rentang aliran laminar ($Re < 2000$). Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran fluida di dalam pipa relatif stabil dan masih didominasi oleh gaya viskos. Peningkatan kecepatan aliran menyebabkan nilai bilangan Reynolds meningkat secara linier, yang menegaskan hubungan langsung antara kecepatan aliran dan karakteristik aliran di dalam pipa.

3.4. Karakteristik Aliran Berdasarkan Bilangan Froude

Selain bilangan Reynolds, bilangan Froude digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik aliran berdasarkan perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh nilai bilangan Froude berada di bawah satu ($Fr < 1$), yang menandakan bahwa aliran yang terjadi termasuk dalam kategori aliran

subkritis. Nilai bilangan Froude terbesar diperoleh pada kondisi kecepatan aliran tertinggi, sedangkan nilai terkecil terjadi pada kecepatan aliran terendah. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran menyebabkan gaya inersia meningkat, namun masih belum cukup untuk mengubah karakteristik aliran menjadi superkritis.



Gambar 2. Grafik Hubungan Aliran dan Bilangan Froude pada Sambungan Pipa PVC 90° Minimal

3.5. Perbandingan Karakteristik Aliran pada Pipa PVC dan Pipa Besi



Gambar 3. Grafik Hubungan Maximal Sambungan Pipa PVC 90° dan Iron 90°

Perbandingan hasil pengujian antara pipa PVC dan pipa besi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik aliran yang dipengaruhi oleh sifat material pipa. Pipa PVC yang memiliki permukaan lebih halus cenderung menghasilkan kehilangan energi yang lebih kecil dibandingkan pipa besi, sehingga nilai kecepatan aliran dan parameter aliran lainnya relatif lebih stabil. Sebaliknya, pipa besi dengan kekasaran permukaan yang lebih tinggi menunjukkan kecenderungan kehilangan energi yang lebih besar pada

sambungan belokan 90°. Perbedaan ini menegaskan bahwa material pipa berperan penting dalam memengaruhi karakteristik aliran fluida pada sistem perpipaan.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian eksperimental pada sambungan pipa PVC dan pipa besi dengan belokan 90° menunjukkan bahwa perubahan debit aliran memengaruhi karakteristik aliran fluida di dalam pipa, yang ditandai oleh perbedaan tekanan antara sisi hulu dan hilir akibat gesekan dan perubahan arah aliran. Karakteristik aliran yang terjadi berada pada kondisi aliran laminar dan subkritis, sehingga gaya viskos dan gravitasi masih mendominasi perilaku aliran. Perbandingan material pipa menunjukkan bahwa pipa PVC cenderung menghasilkan kehilangan energi yang lebih kecil dibandingkan pipa besi pada kondisi aliran yang sama. Temuan ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam analisis dan perancangan sistem perpipaan, khususnya pada penggunaan sambungan belokan 90°.

REFERENSI

- Arun, G., Babu, S. P. K., Natarajan, S., & Kulasekharan, N. (2020). Study of flow behaviour in sharp and mitred pipe bends. *Materials Today: Proceedings*, 27(3), 2101-2108
- Chow, V. Te. (1992). *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Chanel Hydraulics)*. Jakarta : Erlangga.
- Erizal, M. G. (2013). *Buku Ajar Hidraulika*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Gaffar, F., Kasmawati, Anwar, F., Almidar, H., & Latif, F. (2024). Analisis Perbandingan Karakteristik Aliran Terhadap Nilai Kekasaran Pipa Yang Berbeda, *Jurnal Karajata Engineering*, 4(1), 8-14.
- Julian, J., Purba, R. H., Sedeq, K., Wahyuni, F., & Junaedi, T. (2024). Study of Fluid Flow Characteristics In A 90° Pipe Bend With Varying Guide Vane Length. *Journal of Applied Science and Advanced Technology*, 6(3), 99-108.
- Junita, B., Intan, A., Ependi, S., & Rusnadi. (2024). Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Tekanan Pada Saluran Pipa 3 Inci. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 96-101.
- Kodoatie, Robert, J., & Sugiyanto. (2002). *BANJIR : Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Mardini, Z. (2022). Pengaruh Losses / Pressure Drop Pada Sistem Perpipaan Header Pompa Dalam Menentukan Spesifikasi Pengadaan Pompa Distribusi. *Jurnal Rekayasa*, 11(2), 183–192.
- Narding, Y. C., Kusuma, D., Saidatin, N., & Lillahulhaq, Z. (2021). Pengaruh Variasi Ukuran Pipa terhadap Head loss pada Instalasi Perpipaan di Desa

Sumbermanggis. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, (pp. 365 - 369).

Rahayu, P., Putri, D. K., Rosalina, & Indriyani, N. (2021). Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss. *Jurnal Agitasi*, 2(1), 23-32.

Rumaherang, E. J., Wattimena, W. M. E., Rawulun, S. M., & Noya, E. (2023). Studi Regim Aliran Fluida Dan Penentuan Head Loss Akibat Gesekan Pada Instalasi Perpipaan. *ALE Proceeding*, (pp. 154 – 161).

Triatmodjo, B. (1996). *Hidraulika I*. Yogyakarta : Beta Offset.

Triatmodjo, B. (1993). *Hidrolika II*. Yogyakarta : Beta Offset.

Yogaraja, L., Liyanagamage, N., & Silva, K. D. (2021). Comparison of Experimental Results with Empirical Relationships for Energy Losses in Pipe Flow. *2021 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)* (pp. 522 - 527).

Zhang, J., Wang, D., Wang, W., & Zhu, Z. (2022). Numerical Investigation and Optimization of the Flow Characteristics of Bend Pipe with Different Bending Angles. *Processes*, 10(8), 1510.