

Pengaruh Variasi Sudut Belokan Terhadap Kehilangan Energi pada Pipa Jenis PVC

Andi Muh Ghaza Makalalag, Muh Nurcahyadi Azis, Andi Amin Latif*

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

*andiamin.latif@umi.ac.id

Diajukan: 6 Desember 2025, Revisi: 21 Desember 2025, Diterima: 17 Januari 2026

Abstract

This research explores the influence of bend angle variations on energy loss in PVC piping systems, which are integral to diverse applications such as water supply, sanitation, and industrial processes. The study employs an experimental and analytical approach to assess how different bend angles affect fluid flow dynamics and energy efficiency within PVC pipes. Findings reveal that increased bend angles significantly reduce flow rate and velocity, primarily due to altered flow directions, heightened friction against pipe walls, and increased turbulence. Notably, larger bend angles exacerbate head losses or potential energy losses, attributed to more pronounced directional changes and turbulence intensity. These results underscore the critical role of bend angle design in optimizing piping system efficiency and minimizing energy losses. By offering deeper insights into the relationship between bend angle variations and energy loss, this study contributes valuable knowledge for the design and management of more effective and sustainable piping systems.

Keywords: energy loss, pvc pipes, bend angle variation

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi sudut belokan terhadap kehilangan energi dalam sistem perpipaan jenis PVC, yang memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi seperti penyediaan air, sanitasi, dan proses industri. Studi ini menggunakan pendekatan eksperimental dan analitis untuk menilai bagaimana berbagai sudut belokan mempengaruhi dinamika aliran fluida dan efisiensi energi dalam pipa PVC. Temuan menunjukkan bahwa peningkatan sudut belokan secara signifikan mengurangi laju aliran dan kecepatan, terutama akibat perubahan arah aliran, peningkatan gesekan terhadap dinding pipa, dan turbulensi yang lebih besar. Lebih lanjut, sudut belokan yang lebih besar meningkatkan head losses atau kehilangan energi potensial, yang dikaitkan dengan perubahan arah yang lebih tajam dan intensitas turbulensi yang lebih tinggi. Hasil ini menekankan peran penting desain sudut belokan dalam mengoptimalkan efisiensi sistem perpipaan dan meminimalkan kehilangan energi. Dengan memberikan wawasan lebih dalam tentang hubungan antara variasi sudut belokan dan kehilangan energi, studi ini memberikan pengetahuan berharga untuk desain dan manajemen sistem perpipaan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: kehilangan energi, pipa PVC, variasi sudut belokan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air memainkan peran kunci dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, mulai dari penyediaan air minum, sanitasi, hingga kebutuhan pertanian dan industri. Efisiensi dalam transportasi dan manajemen air sangat bergantung pada sistem perpipaan yang handal. Sistem ini, yang terdiri dari berbagai jenis pipa dan komponen, bertujuan untuk mengalirkan air secara lancar dan efisien dari sumbernya ke tujuan akhir

Efisiensi energi dalam sistem perpipaan bukan hanya esensial untuk menghemat sumber daya dan mengurangi biaya operasional, tetapi juga penting untuk mendukung keberlanjutan lingkungan. Dalam konteks ini, penting untuk memahami bagaimana kehilangan energi terjadi, khususnya dalam pipa-pipa yang membawa air. (Eka Putra et al., 2017)

Pipa jenis PVC, yang dikenal dengan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, bobot ringan, kemudahan pengolahan, dan ketersediaannya, telah menjadi pilihan populer dalam konstruksi sistem perpipaan. Dalam sistem tersebut, sudut belokan merupakan komponen kritis, terutama pada titik-titik perubahan arah aliran fluida.

Beberapa studi eksperimental dan numerik pada aliran air/fluida dalam pipa menunjukkan sambungan belokan 30°, 45°, 60°, 90° (pipa penuh air), head loss dan pressure drop terkecil terjadi pada sudut 30° dan terbesar pada 90° (Zainudin et al., 2012).

Penelitian lain dengan CFD pada pipa persegi (ducting AC) menunjukkan hal sama: pada kecepatan tertinggi, Δp tertinggi pada 90° dan terendah pada 45°, baik untuk kecepatan rendah maupun tinggi (Akbar et al., 2024).

Secara numerik untuk pipa bulat dengan sudut bervariasi, kehilangan tekanan meningkat saat sudut mendekati 90°, dengan maksimum di sekitar 90° karena pengaruh gaya sentrifugal dan secondary flow (Dean vortex) yang kuat (Zhang et al., 2022).

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa variasi sudut belokan pada pipa PVC dapat menyebabkan gangguan aliran fluida dan meningkatkan kehilangan energi. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengukur dampak variasi sudut belokan pada kehilangan energi dalam pipa PVC (Sayoga & Nuarsa, 2012)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka dari itu kami menyimpulkan rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut belokan terhadap kehilangan energi pada pipa jenis PVC?
2. Bagaimana karakteristik aliran fluida dalam pipa PVC saat terjadi perubahan arah akibat sudut belokan?

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian tersebut yaitu :

1. Untuk menganalisa bagaimana variasi sudut belokan dapat mempengaruhi kehilangan energi yang terjadi pada pipa jenis PVC.
2. Untuk menganalisa karakteristik aliran fluida dalam pipa PVC saat terjadi perubahan arah akibat sudut belokan

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan analitis yaitu melakukan pengujian untuk memperoleh data. Sebelum dimulai penelitian, terlebih dahulu diawali dengan studi literature yang diantaranya bertujuan untuk mendapatkan gambaran-gambaran tentang penelitian yang akan dilakukan.

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dimulai pada Bulan September 2023 – Januari 2024 yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

2.2 Variabel Yang Diteliti

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat, yaitu:

2.2.1. Variabel Bebas (*Independent*)

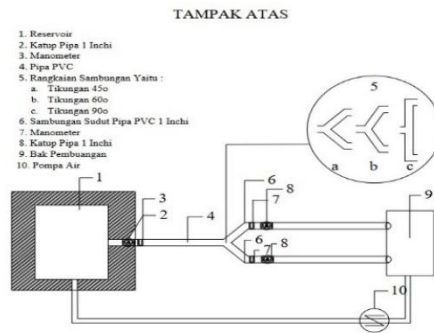
Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab terjadinya perubahan atau timbulnya variabel terikat (*dependen*). Dinamakan sebagai variabel bebas karena bebas dalam mempengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu sudut belokan pipa.

2.2.2. Variabel Terikat (*Dependent*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikat yang digunakan yaitu kehilangan energi

2.3. Alat dan Bahan Penelitian

2.3.1. Rangkaian Alat Penelitian



Gambar 1 Rangkaian Pipa Tampak Atas

2.3.2. Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Reservoir
2. Pompa Air
3. Bak Pembuangan
4. Stopwatch
5. Manometer
6. Thermometer

2.3.3. Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah air yang diambil dari Laboratorium Hidrolika Prodi Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia dan bahan yang disiapkan yaitu:

1. Pipa PVC 1 inchi
2. Sambungan Pipa
 - Y Branch 45°
 - Elbow pipa PVC 45° 2 buah
 - Y Branch 60°
 - Elbow pipa PVC 60° 2 buah
 - Tee 90°
 - Elbow pipa PVC 90° 2 buah

3. Katup Pipa PVC 1 inchi

2.4. Tahap Pengujian

Adapun prosedur percobaanya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini
2. Meletakkan reservoir setinggi 1,5 meter dari permukaan lantai
3. Kemudian pasang bak pembuangan sejauh 2,5 meter dari reservoir
4. Setelah itu pasang pipa PVC diameter 1 inchi pada pembuangan bak dan disambungkan ke reservoir yang dibantu dengan pompa air untuk menaikkan air ke reservoir
5. Merangkai horizontal pipa PVC dengan memasang pipa PVC 1 inchi sepanjang 2,5 meter pada bagian pembuangan air reservoir
6. Kemudian memasang secara horizontal rangkaian sambungan belokan pertama yaitu rangkaian 45° seperti pada gambar 3.1
7. Pasangkan katup pada rangkaian untuk mempermudah pengambilan data
8. Kemudian buka katup pada reservoir untuk memulai pembacaan data dengan volume air maksimal pada reservoir
9. Jalankan alat selama 1 menit untuk membuang udara didalam rangkaian pipa
10. Pastikan air pada reservoir konstan dengan cara menyamakan air yang masuk dengan air yang keluar dengan melakukan kalibrasi terlebih dahulu
11. Lakukan pembacaan dengan melihat waktu sampai mencapai volume yang di tentukan
12. Mencatat waktu sampai mencapai volume yang ditentukan.
13. Kemudian Turunkan tinggi air pada reservoir untuk memperkecil volume air sehingga debit juga semakin kecil
14. Lakukan penurunan volume air reservoir sebanyak 5 kali
15. Mengulang Langkah (8) sampai (14)
16. Setelah itu ganti rangkaian 45° dengan rangkaian 60°, lalu setelah itu rangkaian 90° kemudian lakukan seperti langkah (8) sampai (15) untuk pembacaan data waktu rata rata.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Data

Sebelum melakukan analisis data terlebih dahulu peneliti melakukan pengumpulan data yang kemudian akan dilakukan analisis. Setelah semua data yang diperlukan telah dikumpulkan, dilanjutkan ke tahap pemrosesan atau analisis data. Adapun tahap analisis data dapat dilihat dibawah ini:

A. Perhitungan Debit

Secara perhitungan langsung yang menggunakan data dari hasil pengamatan untuk menentukan debit maka dapat digunakan persamaan (Artikel, 2022) berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: Q = debit (m^3/s)
 V = volume (m^3)
 t = waktu (s)

B. Perhitungan Kecepatan Aliran (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran berdasarkan hasil pengamatan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: Q = debit (m^3/s)

$$A = \text{luas penampang (m}^2) \quad v = \text{kecepatan (m/s)}$$

C. Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Untuk menentukan Bilangan Reynolds (Re) dalam analisis aliran fluida, diperlukan beberapa parameter yang harus diinput berdasarkan rumus yang sesuai. Untuk menghitung Bilangan Reynolds, menggunakan persamaan (Kustanto & Yuniarto Prihatin, n.d.) berikut

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- Re = Bilangan Reynolds
- v = Kecepatan fluida (m/s)
- D = Diameter pipa (m)
- μ = Visko Kinematik (m²/s)
- ρ = Kerapatan (Kg/m³)

D. Perhitungan Koefisien Gesek (f)

Berdasarkan hasil perhitungan Bilangan Reynolds (Re) yang menunjukkan jenis aliran turbulen, maka dilakukan penentuan perhitungan Koefisien Gesek (f) dengan mengacu pada persamaan (Pradhana & Widodo, 2017) berikut :

$$f = 0.316 \times Re^{-0.25} \dots\dots\dots (4)$$

- Dimana : f = Koefisien gesek
 Re = Bilangan reynolds

E. Perhitungan Kehilangan Energi

Dalam menentukan perhitungan Kehilangan energy baik mayor lossess maupun minor losses menggunakan persamaan Darcy – Weisbach (White, 2016)

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (5)$$

- Dimana : H_f = head mayor (m)
 L = panjang pipa (m)
 D = diameter pipa (m)
 v = kecepatan (m/s)
 g = gravitasi bumi (m/s²)
 f = faktor gesek

$$H_m = k \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (6)$$

- Dimana : H_m = Head Minor (m)
 k = Koefisien Kehilangan
 v = Kecepatan Aliran (m/s)
 g = Precepatan Gravitasi (m/s²)

Untuk mencari head losses (H) bisa menggunakan rumus sebagai berikut yaitu :

$$H = H_f + H_m \dots\dots\dots (7)$$

F. Perhitungan Preassure Drop

Dalam menentukan perhitungan Preassure Drop pada sudut belokan menggunakan persamaan yang ada pada (Sayoga & Nuarsa, 2012) berikut :

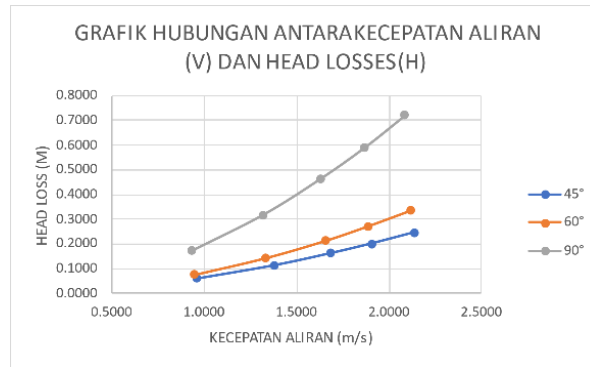
$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- Δp = Preassure Drop (N/m^2)
- p = Massa Jenis Fluida (kg/m^3)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
- Δh = Selisi Ketinggian (m)

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan dari masing-masing sudut belokan

Sudut Tikungan	h (m)	Q (liter/s)	v (m/s)	Re	Jenis Aliran	f	Kehilangan Energi			Preassure Drop
							Hf	Hm	H	$\Delta\rho$
							(m)	(m)	(m)	(N/m^2)
45°	0,30	1,0827	2,13	67213,5	TURBULEN	0,04	0,22	0,01	0,24	902,52
	0	0	67	50		66	95	62	57	0
	0,24	0,9659	1,90	59966,1	TURBULEN	0,04	0,18	0,01	0,20	686,70
	4	6	63	80		80	81	30	11	0
	0,18	0,8542	1,68	53030,7	TURBULEN	0,04	0,15	0,01	0,16	451,26
	8	4	59	19		96	20	02	22	0
0,12	0,6981	1,37	43340,8	TURBULEN	0,05	0,10	0,00	0,11	235,44	
2	5	78	17		20	65	68	33	0	
0,06	0,4869	0,96	30228,5	TURBULEN	0,05	0,05	0,00	0,06	196,20	
6	3	10	67		70	68	32	00	0	
60°	0,30	1,0717	2,11	66533,1	TURBULEN	0,04	0,22	0,04	0,26	922,14
	0	4	51	45		68	58	10	68	0
	0,24	0,9555	1,88	59318,6	TURBULEN	0,04	0,18	0,03	0,21	725,94
	4	3	58	99		82	49	26	75	0
	0,18	0,8388	1,65	52076,5	TURBULEN	0,04	0,14	0,02	0,17	510,12
	8	7	55	02		98	72	52	24	0
0,12	0,6759	1,33	41962,1	TURBULEN	0,05	0,10	0,01	0,11	274,68	
2	4	40	56		25	08	64	72	0	
0,06	0,4812	0,94	29877,5	TURBULEN	0,05	0,05	0,00	0,06	215,82	
6	8	98	88		72	56	82	38	0	
90°	0,30	1,0569	2,08	65617,6	TURBULEN	0,04	0,22	0,10	0,32	941,76
	0	9	60	35		70	06	86	92	0
	0,24	0,9458	1,86	58716,5	TURBULEN	0,04	0,18	0,08	0,26	745,56
	4	3	66	04		82	11	70	81	0
	0,18	0,8259	1,63	51275,2	TURBULEN	0,05	0,14	0,06	0,20	529,74
	8	6	01	30		00	33	64	97	0
0,12	0,6693	1,32	41555,4	TURBULEN	0,05	0,09	0,04	0,14	313,92	
2	9	11	27		26	90	36	26	0	
0,06	0,4728	0,93	29354,8	TURBULEN	0,05	0,05	0,02	0,07	235,44	
6	6	32	57		74	40	18	58	0	



Gambar 2 Hubungan *antara* Kecepatan *dan* Head Losses

Pada Gambar 2 mengindikasikan bahwa pada sudut belokan 45° , kecepatan aliran maksimum tercatat sebesar $2,1367 \text{ m/s}$ dengan head losses tertinggi mencapai $0,2457$ meter. Pada sudut 60° , kecepatan aliran maksimum adalah $2,1151 \text{ m/s}$ dengan head losses sebesar $0,2668$ meter, sementara pada sudut 90° , kecepatan aliran puncaknya adalah $2,0860 \text{ m/s}$ dengan head losses mencapai $0,3292$ meter. Dari temuan ini, dapat disimpulkan bahwa peningkatan sudut belokan berbanding terbalik dengan kecepatan aliran dan berbanding lurus dengan kehilangan energi atau *head losses*. Hal ini dapat diatributkan kepada faktor-faktor seperti perubahan arah aliran, peningkatan gesekan antara fluida dan dinding permukaan pipa, serta pertumbuhan turbulensi yang menyebabkan peningkatan head losses atau kehilangan energi potensial dalam aliran.

3.2. Pembahasan

Berdasarkan tabel 1 rekapitulasi, dapat dilihat hasil perhitungan rekap dari sudut 45° , 60° , dan 90° . Data yang diperoleh telah diambil sebanyak lima kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh adalah data yang akurat dan representatif. Debit pada volume tertinggi untuk sudut 45° yaitu $1,0827 \text{ liter/s}$, untuk sudut 60° yaitu $1,0717 \text{ liter/s}$ dan untuk sudut 90° yaitu $1,0570 \text{ Liter/s}$, hasil pengujian pada diameter yang sama dan panjang pipa yang sama menunjukkan bahwa debit air berbanding terbalik dengan sudut sambungan belokan pipa, semakin besar sudut sambungan belokan pipa maka debit air semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil sudut sambungan belokan pipa debit air semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena waktu yang diperlukan lebih lama untuk sudut belokan yang semakin besar.

Setelah mendapatkan nilai debit maka dilanjutkan dengan perhitungan kecepatan aliran, berdasarkan tabel 1 untuk kecepatan aliran pada ketinggian tertinggi belokan 45° yaitu $2,1367 \text{ m/s}$, untuk sudut 60° yaitu $2,1151 \text{ m/s}$ dan untuk sudut 90° yaitu $2,0860 \text{ m/s}$, hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan air berbanding terbalik dengan sudut sambungan belokan pipa, semakin besar sudut sambungan belokan pipa maka kecepatan air semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil sudut sambungan belokan pipa kecepatan air semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena waktu yang diperlukan lebih lama untuk sudut belokan yang semakin besar.

Dalam rangka analisis yang lebih mendalam terkait dengan dinamika aliran fluida, kami telah memanfaatkan data kecepatan aliran untuk mengkalkulasi bilangan Reynolds. Berdasarkan informasi yang tercatat dalam Tabel 1, Bilangan Reynolds pada ketinggian aliran maksimum untuk sudut belokan 45° adalah $67213,550$, untuk sudut 60° adalah $66533,145$, dan untuk sudut 90° adalah $65617,635$. Mengingat nilai-nilai tersebut semua melebihi ambang batas 2800 , jenis aliran yang terjadi pada setiap sudut adalah turbulen. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara nilai bilangan Reynolds dan besarnya sudut belokan.

Selanjutnya, dalam proses perhitungan kehilangan energi, faktor penting lainnya yang harus diperhitungkan adalah nilai koefisien gesek. Setelah mendapatkan hasil bilangan Reynolds, langkah berikutnya adalah menghitung koefisien gesek. Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 1, nilai koefisien gesek untuk ketinggian aliran maksimum pada sudut 45° adalah 0,0466, pada sudut 60° adalah 0,0468, dan pada sudut 90° adalah 0,0470. Dari data ini, terlihat bahwa ada peningkatan nilai koefisien gesek seiring dengan peningkatan sudut belokan. Kesimpulan ini menegaskan bahwa perubahan sudut belokan berpengaruh signifikan terhadap nilai koefisien gesek dalam konteks aliran fluida. Setelah didapatkan hasil perhitungan debit, kecepatan aliran, bilangan Reynolds dan koefisien gesek maka dari data tersebut kita dapat menyimpulkan semakin besar sudut belokan maka akan kecil debit, kecepatan aliran, bilangan Reynolds dan koefisien gesek hal ini diakibatkan oleh tumbukan air pada pipa yang mengalami pembelokan mengakibatkan berkurangnya nilai tersebut.

Setelah memperoleh data yang mencakup debit, kecepatan aliran, bilangan Reynolds, dan koefisien gesek, kita dapat melakukan perhitungan terhadap nilai kehilangan energi. Berdasarkan informasi yang tertera pada Tabel 1, terlihat bahwa nilai kehilangan energi untuk ketinggian maksimum pada sudut belokan 45° adalah 0,2457 m, pada sudut 60° adalah 0,2668 m, dan pada sudut 90° adalah 0,3292 m. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa peningkatan sudut belokan mengakibatkan peningkatan kehilangan energi. Fenomena ini disebabkan oleh fakta bahwa sudut belokan yang lebih besar menginduksi kerugian tekanan yang lebih signifikan dalam aliran di dalam pipa. Observasi ini juga didukung oleh rekapitulasi penurunan tekanan yang dijelaskan dalam Tabel 1, di mana kerugian energi dan penurunan tekanan terjadi akibat dampak tumbukan dalam aliran pipa yang disebabkan oleh sudut belokan pipa tersebut.

Penelitian kami difokuskan pada pengukuran volume aliran maksimum pada berbagai sudut belokan. Hasil pengukuran mengungkapkan bahwa peningkatan sudut belokan mengakibatkan penurunan debit dan kecepatan aliran. Penyebab utama meliputi perubahan arah aliran, peningkatan gesekan dengan dinding permukaan, serta peningkatan turbulensi. Sebaliknya, pada sudut belokan yang lebih besar, terjadi peningkatan head losses atau kehilangan energi potensial dalam aliran. Hal ini disebabkan oleh perubahan arah aliran yang lebih tajam, peningkatan gesekan dengan dinding permukaan, dan intensitas turbulensi yang lebih tinggi.

Perubahan arah aliran tajam \rightarrow gaya sentrifugal dan gradien tekanan radial menimbulkan secondary flow/Dean vortices, memperkuat turbulensi dan fluktuasi kecepatan (Apalowo & Akisin, 2024; Bilde et al., 2022; Rowe, 1970; Zhang et al., 2022).

Gesekan dinding lebih besar di area belokan karena aliran menekan dinding luar dan terjadi separasi di sisi dalam (Apalowo & Akisin, 2024; Julian et al., 2023; Zhang et al., 2022).

Turbulensi tinggi dan separasi mengubah sebagian energi tekanan/kecepatan menjadi kerugian energi (head losses) yang tidak dapat dipulihkan (Abduh et al., 2020; Apalowo & Akisin, 2024; Nikmah et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Temuan ini memberikan pemahaman mendalam tentang karakteristik aliran dalam sudut belokan yang berbeda, informasi ini sangat berharga dalam perencanaan dan pengelolaan sistem perpipaan yang efisien.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh variasi sudut belokan terhadap kehilangan energi pada pipa jenis PVC dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemakaian variasi sudut belokan menyebabkan perubahan pada kehilangan energi, semakin besar sudut belokan nilai kehilangan energi (Head Losses) yang dihasilkan akan semakin besar, nilai kehilangan energi pada sudut 45° yaitu 0,2457 m, sudut 60° yaitu 0,2668 m, dan sudut 90° yaitu 0,3292 m, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi berbanding lurus dengan variasi belokan yang semakin besar
2. Berdasarkan hasil perhitungan data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa dalam pipa jenis PVC, perubahan arah aliran akibat sudut belokan dapat mengakibatkan penurunan kecepatan aliran, peningkatan head losses, dan potensi terjadinya turbulensi, yang secara keseluruhan dapat memengaruhi efisiensi dan karakteristik aliran fluida dalam sistem pipa tersebut.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kami menyampaikan beberapa saran yang dapat memperbaiki dan mengembangkan penelitian ini:

1. Disarankan untuk meningkatkan tingkat akurasi alat yang digunakan dalam penelitian, terutama dalam hal pemasangan manometer. Hal ini penting untuk memastikan keakuratan pengukuran, selain itu mengevaluasi selisih antara debit teoritis dan debit yang dihitung. Selisih ini bisa dipengaruhi oleh keadaan pipa yang tidak simetris atau memiliki kemiringan. Oleh karena itu, penggunaan alat waterpass untuk menyesuaikan kemiringan pipa dan menjadikannya lebih simetris akan sangat dianjurkan.
2. Kami menganjurkan penelitian ini untuk diperluas dengan mempertimbangkan variasi kondisi tambahan seperti ekspansi dan kontraksi dalam sistem aliran. Selain itu, melibatkan berbagai jenis pipa, seperti pipa galvanis, pipa fiber, dan lainnya dalam rangkaian alat penelitian, akan memberikan wawasan yang lebih komprehensif tentang karakteristik aliran dalam berbagai jenis pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., Suhardjono, Sumiadi, & Dermawan, V. (2020). Simplified Equations and Ansys Simulation of Head Loss on Nonlinear (Sliced) Bend for Piping Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/5/052002>
- Akbar, M. K., Roihatin, A., & Aulia, N. F. (2024). Computational Analysis Of Pipe Bend Angle Effect On Pressure Drop. *Jurnal Polimesin*. <https://doi.org/10.30811/jpl.v22i1.4229>
- Apalowo, R., & Akisin, C. (2024). CFD-based investigation of turbulent flow behavior in 90-deg pipe bends. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*. <https://doi.org/10.4995/jarte.2024.20665>
- Artikel, I. (2022). Analisis pengaruh sudut belokan terhadap headlosses aliran pipa pembuangan air lumpur lapindo ke kali porong. *Ciastech*, 361–370.
- Bilde, K. G., Hærvig, J., & Sørensen, K. (2022). Decay of secondary motion downstream bends in turbulent pipe flows. *Physics of Fluids*. <https://doi.org/10.1063/5.0129339>
- Eka Putra, I., Sulaiman, S., & Galsha, A. (2017). Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC. 34–39. <https://doi.org/10.21063/pimimd4.2017.34-39>
- Kustanto, H., & Yunianto Prihatin, J. (n.d.). Kajian Pengaruh Variasi Diameter Pipa Hisap Pvc Pada Sistem Perpipaan Tunggal Pompa Sanyo. *Jurnal Teknika ATW_Edisi*, 08, 10.

- Julian, J., Wahyuni, F., Iskandar, W., & Ramadhani, R. (2023). The effect of curvature ratio towards the fluid flow characteristics in bend pipe based on numerical methods. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. <https://doi.org/10.24127/trb.v12i1.2564>
- Nikmah, A., Amalia, R., & Satrio, D. (2022). Analysis of the Effect of Bend Angle Outlet Main Steam Line on the Steam Flow Characteristic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 972. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/972/1/012064>
- Pradhana, R. Y., & Widodo, E. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Diameter Pipa Tekan PVC Pada Pompa Rotari Untuk Kecepatan Gaya Dorong Air. R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, 2(1), 37. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v2i1.846>
- Mechanics Ei ghth Edition Publisher: Mechassis.com Chemie.ir. www.mechassis.com
- Rowe, M. (1970). Measurements and computations of flow in pipe bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 43, 771–783. <https://doi.org/10.1017/s0022112070002732>
- Sayoga, I. M. A., & Nuarsa, I. M. (2012). 97-278-1-Pb. 2(2), 75–83.
- White, F. M. (2016). Fluid
- Zainudin, Z., Sayoga, I., & Nuarsa, M. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. *Dinamika Teknik Mesin*, 2, 76–83. <https://doi.org/10.29303/d.v2i2.97>
- 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*. <https://doi.org/10.3390/pr10081510>