

## **Analisis Kehilangan Energi pada Pipa PVC dan Galvanis dengan Menggunakan Persamaan *Darcy-Weisbach* dan *Hazen Williams***

**Andi Putri Jul Azkina, Andi Siti Habibah, Andi Amin Latif \*, Mas'ud SAR**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia,  
Jl. Urip Sumohardjo Km. 05 Panaikang Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

\* [andiamin.latif@umi.ac.id](mailto:andiamin.latif@umi.ac.id)

Diajukan: 30 April 2025, Revisi: 02 Mei 2025, Diterima: 08 Mei 2025

### **Abstract**

*Water plays a crucial role in life, and its distribution relies heavily on the performance of an efficient piping system. This study aims to assess energy loss in piping systems using PVC and Galvanized pipes through the Darcy-Weisbach and Hazen-Williams equations. The calculation results show that for PVC pipes, the major energy loss ( $hf$ ) ranges from 1.0331 m to 0.4542 m using the Darcy-Weisbach equation, while the Hazen-Williams equation gives values between 1.0360 m and 0.4546 m. Conversely, Galvanized pipes show major energy loss ( $hf$ ) between 1.8264 m and 0.3561 m (Darcy-Weisbach) and 1.5654 m to 0.3551 m (Hazen-Williams). These differences suggest that while both methods yield similar results, the Hazen-Williams equation tends to provide slightly lower values at low flow conditions. PVC pipes, with smoother surfaces, exhibit better flow efficiency than Galvanized pipes with rougher surfaces. These findings provide valuable insights for designing more efficient piping systems by considering pipe material characteristics and fluid flow conditions.*

*Keywords: energy loss, PVC pipe, Galvanized pipe, Darcy-Weisbach equation, Hazen-Williams equation*

### **Abstrak**

Air memiliki peranan penting dalam kehidupan, dan distribusinya sangat bergantung pada kinerja sistem perpipaan yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kehilangan energi dalam sistem perpipaan yang menggunakan pipa PVC dan Galvanis dengan pendekatan persamaan Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk pipa PVC, kehilangan energi mayor ( $hf$ ) berkisar antara 1.0331 m hingga 0.4542 m dengan persamaan Darcy-Weisbach, sementara dengan persamaan Hazen-Williams menghasilkan nilai antara 1.0360 m hingga 0.4546 m. Sebaliknya, pada pipa Galvanis, nilai kehilangan energi mayor ( $hf$ ) berkisar antara 1.8264 m hingga 0.3561 m (Darcy-Weisbach) dan 1.5654 m hingga 0.3551 m (Hazen-Williams). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa meskipun kedua metode menghasilkan hasil yang serupa, persamaan Hazen-Williams cenderung memberikan nilai yang sedikit lebih rendah pada kondisi aliran dengan debit rendah. Pipa PVC, yang memiliki permukaan lebih halus, menunjukkan efisiensi aliran yang lebih baik dibandingkan pipa Galvanis yang lebih kasar. Temuan ini memberikan dasar penting untuk merancang sistem perpipaan yang lebih efisien dengan mempertimbangkan karakteristik material pipa serta kondisi aliran fluida.

**Kata Kunci:** kehilangan energi, pipa PVC, pipa Galvanis, persamaan Darcy-Weisbach, persamaan Hazen-Williams

## 1. PENDAHULUAN

Air merupakan elemen vital yang mendukung berbagai sektor kehidupan manusia, termasuk kebutuhan domestik, industri, dan pertanian (Musa, Tenri, et al., 2022). Dalam rangka memenuhi kebutuhan air tersebut, distribusi melalui sistem perpipaan menjadi salah satu metode utama yang digunakan. Sistem perpipaan yang efisien tidak hanya bergantung pada pemilihan material pipa, tetapi juga pada perancangan yang mempertimbangkan aspek hidraulik dan efisiensi energi (Alkindi et al., 2023). Kehilangan tekanan dalam sistem perpipaan dapat berdampak signifikan pada kinerja sistem dan biaya operasional, sehingga perlu dilakukan analisis mendalam untuk mengurangi kehilangan energi (Imam & Mukhibullah, 2019)

Pipa merupakan komponen utama dalam sistem perpipaan yang berfungsi untuk mengalirkan fluida seperti air, minyak, atau gas. Material pipa yang digunakan dalam distribusi air sangat mempengaruhi efisiensi aliran fluida (Musa, Muh, et al., 2024). Pipa PVC (polivinil klorida) dan pipa galvanis, meskipun keduanya sering digunakan dalam jaringan distribusi air, memiliki sifat yang berbeda, terutama dalam hal kekasaran permukaan dan kemampuan mengurangi gesekan (Rafiq, 2022). Pipa PVC dikenal memiliki permukaan yang lebih halus, sementara pipa galvanis cenderung memiliki tingkat kekasaran yang lebih tinggi. Perbedaan ini memengaruhi kehilangan energi yang terjadi selama transportasi fluida melalui pipa (White, 2016).

Kehilangan energi dalam sistem perpipaan umumnya terjadi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa, perubahan arah aliran, serta hambatan pada sambungan dan komponen seperti katup atau belokan (Eka Putra et al., 2017). Faktor utama yang mempengaruhi kehilangan energi dalam aliran fluida adalah karakteristik material pipa, kekasaran permukaan, serta jenis aliran yang terjadi, baik laminar maupun turbulen. Dalam sistem perpipaan air, perhitungan kehilangan energi yang akurat sangat penting untuk memastikan efisiensi sistem dan mengoptimalkan desain pipa agar biaya operasional dapat ditekan (Rahayu et al., 2021)

Untuk menganalisis kehilangan energi dalam sistem perpipaan, dua metode yang sering digunakan adalah persamaan Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams. Persamaan Darcy-Weisbach mampu memperhitungkan berbagai kondisi aliran dengan lebih rinci, mengingat metode ini memperhitungkan faktor gesekan yang lebih kompleks, termasuk dimensi pipa, kecepatan aliran, dan jenis fluida (Mechram, 2008). Sebaliknya, persamaan Hazen-Williams lebih banyak digunakan pada aliran turbulen, dengan pendekatan empiris yang lebih sederhana namun cukup akurat untuk sistem perpipaan air bersih (Rusli & Susanto, 2019). Meskipun keduanya memiliki keunggulan masing-masing, pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada kondisi aliran yang ada pada sistem perpipaan yang sedang dianalisis.

Sehubungan dengan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kehilangan energi pada pipa PVC dan galvanis dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams. Penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana karakteristik material pipa memengaruhi efisiensi aliran fluida dalam sistem perpipaan, serta memberikan wawasan lebih lanjut tentang metode perhitungan kehilangan energi yang tepat untuk masing-masing jenis pipa. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi para praktisi dan perancang sistem perpipaan dalam merancang sistem distribusi air yang lebih efisien dan ekonomis (Mustakim & Syakura, 2015)

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah studi deskriptif kuantitatif yang menggunakan data sekunder untuk menganalisis fenomena kehilangan energi pada pipa PVC dan galvanis. Dengan pendekatan deskriptif, penelitian ini menyajikan data secara sistematis dan terukur tanpa melakukan eksperimen langsung.

### B. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber, termasuk penelitian sebelumnya, laporan teknis, dan studi terkait yang telah dipublikasikan. Data sekunder ini mencakup karakteristik pipa, yang terdiri dari jenis pipa (PVC dan galvanis), diameter pipa, panjang pipa, kekasaran pipa, serta parameter fisik lainnya yang relevan. Selain itu, data aliran fluida juga dikumpulkan, yang mencakup kecepatan aliran fluida, debit, dan suhu fluida. Penggunaan data sekunder ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dan efisien, serta memberikan dasar yang kuat untuk memahami fenomena kehilangan energi dalam sistem perpipaan yang diteliti.

### C. Variabel Yang Diteliti

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

#### a) Variabel Bebas (Independent)

Variabel independen adalah faktor yang memengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya perubahan pada variabel dependen. Disebut sebagai variabel independen karena memiliki kebebasan dalam memengaruhi variabel lainnya. Dalam penelitian ini, variabel independen yang dianalisis adalah jenis pipa, yaitu PVC dan Galvanis.

#### b) Variabel Terikat (Dependent)

Variabel dependen adalah faktor yang dipengaruhi atau menjadi hasil dari adanya variabel independen. Dalam penelitian ini, variabel dependen yang dianalisis mencakup kehilangan energi, serta hasil perhitungan yang diperoleh melalui metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisa Data

Analisis data akan dilakukan untuk mengevaluasi kehilangan energi pada pipa PVC dan Galvanis dengan menggunakan pendekatan 2 metode yaitu metode Darcy Weisbach Dan metode Hazen Williams. Tujuan analisis ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh karakteristik pipa dan metode perhitungan terhadap nilai kehilangan energi, serta memberikan pemahaman yang lebih baik tentang efisiensi aliran fluida dalam sistem perpipaan yang diteliti.

### a) Debit Dan Kecepatan Aliran

Debit aliran adalah jumlah volume aliran yang mengalir per satuan waktu. Satuan debit yang umum digunakan adalah meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/s). Besarnya debit dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Musa, Rachmayanti, et al., 2022):

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

Keterangan :

Q = Debit Aliran (m<sup>3</sup>/s)

V = Volume Air (m<sup>3</sup>)

t = Waktu rata-rata (s)

Pada persamaan Hazen-Williams yang secara empiris persamaan ini menyatakan bahwa debit yang mengalir didalam pipa adalah sebanding dengan diameter pipa dan kemiringan hidrolis yang dinyatakan sebagai rasio antara kehilangan tekanan terhadap panjang pipa, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Dahlan et al., 2024):

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (2)$$

Keterangan :

Q = Debit Aliran (m<sup>3</sup>/s)

C = Koefisien Hazen-William

d = Diameter pipa dalam (m)

S = Kemiringan lahan

$$S = \frac{hL}{L} \quad (3)$$

Keterangan :

S = Kemiringan lahan

hL = Headloss mayor (m)

L = Panjang pipa (m)

Kecepatan aliran fluida dapat diartikan sebagai besarnya debit yang mengalir persatuan luas. Menghitung kecepatan bisa menggunakan persamaan berikut (Musa, Azzaharah, et al., 2024):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Keterangan :

Q = debit (m<sup>3</sup>/s)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

v = kecepatan (m/s)

Secara umum rumus Hazen William menentukan kecepatan aliran bisa menggunakan persamaan berikut :

$$v = 0,354 \times C \times S^{0,54} \times D^{0,63} \quad (5)$$

Keterangan :

v = Kecepatan (m/s)

C = Koefisien Hazen-William

D = Diameter (m)

S = Kemiringan lahan

**b) Bilangan Reynolds (Re)**

Bilangan Reynolds adalah parameter tak berdimensi yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran dalam sistem perpipaan. Aliran dikategorikan sebagai laminar apabila bilangan Reynolds < 2300, masuk dalam zona transisi jika berada dalam rentang 2300 hingga 4000, dan tergolong turbulen apabila nilainya > 4000. Nilai bilangan Reynolds dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{6}$$

Keterangan :

Re = Bilangan Reynolds

v = kecepatan (m/s)

D = Diameter Pipa (m)

μ = Viskositas (m)

ρ = Kerapatan (Kg/m<sup>3</sup>)

**c) Koefisien Gesek (f)**

Koefisien gesek menentukan tingkat hambatan aliran dalam pipa, dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan jenis aliran. Berdasarkan hasil perhitungan Bilangan Reynolds (Re) yang mengindikasikan aliran turbulen, nilai Koefisien Gesek (f) ditentukan menggunakan persamaan :

$$f = 0,316 \times Re^{-0,25} \tag{7}$$

Untuk menentukan nilai koefisien gesek (f) pada aliran pipa kasar jenis pipa galvanis, mengusulkan persamaan :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7 D}{k} \tag{8}$$

Keterangan :

f = Koefisien gesek

Re = Bilangan Reynolds

K = Kekasaran pipa (mm)

D = Diameter pipa (m)

**d) Kehilangan Energi (Mayor Losses)**

Perhitungan kehilangan energi mayor dalam sistem perpipaan dapat dilakukan menggunakan dua metode, yaitu Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach. Kehilangan energi mayor dengan metode Hazen-Williams dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$h_L = \left[ \frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot d^{2,63}} \right]^{1,85} \cdot L \tag{9}$$

Keterangan :

C = Koefisien Hazen-William

D = Diameter pipa (m)

S = Kemiringan lahan

h<sub>L</sub> = Headloss mayor (m)

L = Panjang pipa (m)

Sementara itu kehilangan energi mayor dengan metode Darcy-Weisbach dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Luthfi & Yulianto, 2023):

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{10}$$

Keterangan :

H<sub>f</sub> = H

f = Koefisien gesek

D = Diameter pipa (m)

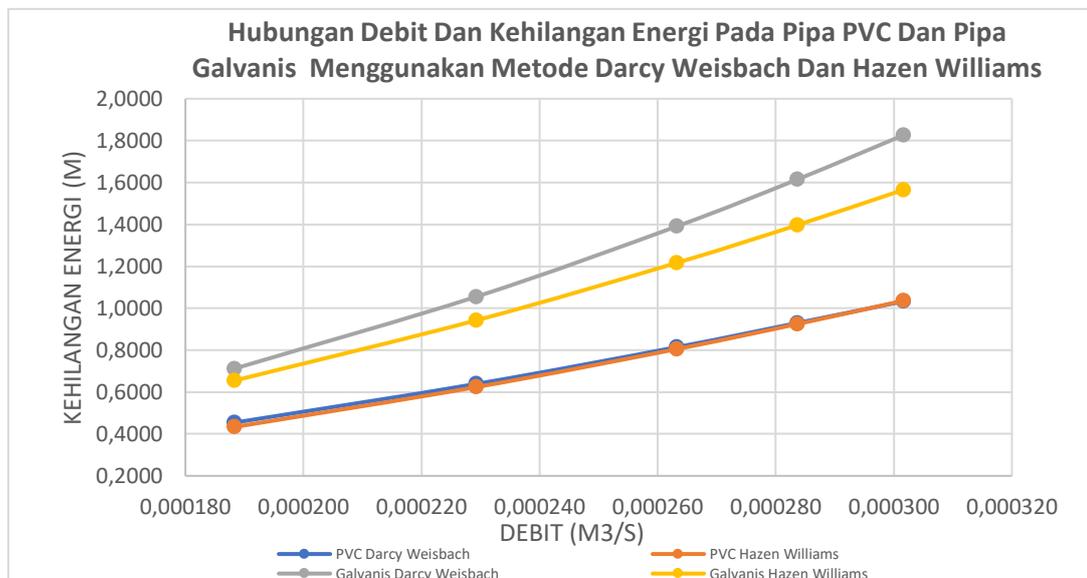
v = kecepatan (m/s)

g = gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

L = Panjang pipa (m)

**Tabel 1 Rekapitulasi Perhitungan Pipa PVC Dan Galvanis Dengan Menggunakan Metode Darcy Weisbach dan Metode Hazen Williams**

Jenis Pipa	Q	A	v	Re	f	H <sub>f</sub> (Darcy Weisbach)	H <sub>f</sub> (Hazen Williams)
PVC	0.000302	0.000127	2.3812	37451.92	0.0227	1.0331	1.0360
	0.000284	0.000127	2.2396	35224.37	0.0231	0.9300	0.9249
	0.000263	0.000127	2.0778	32680.02	0.0235	0.8143	0.8051
	0.000229	0.000127	1.8099	28466.31	0.0243	0.6389	0.6236
	0.000188	0.000127	1.4867	23383.40	0.0256	0.4542	0.4334
Galvanis	0.000302	0.000127	2.3775	37393.80	0.0401	1.8264	1.5654
	0.000284	0.000127	2.2362	35171.86	0.0401	1.6156	1.3975
	0.000263	0.000127	2.0749	32633.75	0.0401	1.3907	1.2165
	0.000229	0.000127	1.8076	28429.93	0.0401	1.0552	0.9424
	0.000188	0.000127	1.4851	23358.11	0.0401	0.7120	0.6549



**Gambar 1 Grafik Gabungan Hubungan Debit Dan Kehilangan Energi Dengan Menggunakan Metode Darcy Weisbach Dan Metode Hazen William**

Berdasarkan grafik hubungan antara debit dan kehilangan energi pada pipa PVC dan pipa Galvanis menggunakan metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams, terlihat bahwa kehilangan energi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya debit aliran dalam pipa. Pipa Galvanis menunjukkan kehilangan energi yang lebih tinggi dibandingkan pipa PVC pada debit yang sama, baik menggunakan metode Darcy-Weisbach maupun Hazen-Williams. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik material pipa, di mana pipa Galvanis memiliki kekasaran permukaan lebih tinggi dibandingkan pipa PVC, sehingga meningkatkan koefisien gesekan yang berkontribusi terhadap peningkatan kehilangan energi.

Selain itu, pola hubungan antara debit dan kehilangan energi menunjukkan tren linier pada grafik, yang mengindikasikan bahwa peningkatan debit berbanding lurus dengan kehilangan energi dalam sistem perpipaan ini. Perbedaan yang lebih signifikan antara pipa PVC dan Galvanis semakin terlihat pada debit yang lebih besar, di mana kehilangan energi pada pipa Galvanis meningkat dengan gradien yang lebih tajam dibandingkan pipa PVC. Hal ini menunjukkan bahwa dalam sistem perpipaan dengan aliran bertekanan tinggi, pemilihan material pipa sangat berpengaruh terhadap efisiensi energi, di mana pipa dengan permukaan lebih halus seperti PVC dapat mengurangi kehilangan energi yang terjadi.

## B. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 1, dapat diamati bahwa kehilangan energi mayor pada pipa PVC dan pipa Galvanis memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pipa Galvanis menunjukkan kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC untuk debit yang sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik material kedua jenis pipa, di mana pipa Galvanis memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan pipa PVC yang lebih halus. Kekasaran ini berdampak langsung pada peningkatan faktor gesekan ( $f$ ), yang kemudian berpengaruh terhadap besarnya kehilangan energi dalam sistem perpipaan.

Jika dilihat dari nilai bilangan Reynolds ( $Re$ ), aliran dalam kedua pipa berada dalam kategori turbulen dengan rentang 23.838,40 hingga 37.451,92. Bilangan Reynolds yang tinggi menunjukkan bahwa pengaruh viskositas terhadap aliran relatif kecil, sementara efek inersia lebih dominan. Meskipun pipa PVC dan Galvanis memiliki nilai  $Re$  yang relatif serupa untuk debit yang sama, kehilangan energi pada pipa Galvanis tetap lebih tinggi karena faktor gesekan yang lebih besar. Pada debit  $Q = 0.000302 \text{ m}^3/\text{s}$ , kehilangan energi mayor yang dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach untuk pipa PVC adalah 1.0331 m, sedangkan untuk pipa Galvanis mencapai 1.8264 m, menunjukkan peningkatan kehilangan energi lebih dari 76% pada pipa Galvanis.

Selain itu, metode perhitungan yang digunakan juga menunjukkan variasi hasil. Metode Darcy-Weisbach menghasilkan nilai kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan metode Hazen-Williams, terutama pada pipa Galvanis. Sebagai contoh, pada debit  $Q = 0.000263 \text{ m}^3/\text{s}$ , kehilangan energi pada pipa Galvanis berdasarkan metode Darcy-Weisbach adalah 1.6156 m, sedangkan metode Hazen-Williams menghasilkan 1.3619 m. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan pendekatan antara kedua metode. Metode Darcy-Weisbach mempertimbangkan faktor gesekan secara lebih rinci dengan memperhitungkan pengaruh bilangan Reynolds dan kekasaran relatif, sementara metode Hazen-Williams lebih bersifat empiris dan lebih sering digunakan untuk aliran dalam kondisi tertentu seperti sistem perpipaan air bersih bertekanan rendah hingga sedang.

Dari segi kecepatan aliran ( $v$ ), terlihat bahwa semakin besar debit yang dialirkan, maka kecepatan fluida dalam pipa juga meningkat. Sebagai contoh, pada debit  $Q = 0.000302 \text{ m}^3/\text{s}$ , kecepatan fluida dalam pipa PVC adalah  $2.3812 \text{ m/s}$ , sementara pada pipa Galvanis dengan debit yang sama, kecepatan aliran mencapai  $2.3181 \text{ m/s}$ . Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan kondisi permukaan dalam pipa, di mana permukaan yang lebih kasar pada pipa Galvanis cenderung menghambat laju aliran dibandingkan dengan pipa PVC. Konsekuensinya, semakin tinggi tingkat kekasaran pipa, semakin besar kehilangan energi yang terjadi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa.

Lebih lanjut, perbedaan nilai faktor gesekan ( $f$ ) juga berkontribusi terhadap variasi kehilangan energi. Faktor gesekan untuk pipa PVC berkisar antara  $0.0227$  hingga  $0.0256$ , sementara untuk pipa Galvanis memiliki nilai tetap di  $0.0401$  untuk seluruh debit yang diuji. Hal ini menegaskan bahwa pipa dengan permukaan lebih kasar memiliki faktor gesekan yang lebih besar, yang menyebabkan peningkatan kehilangan energi pada sistem perpipaan. Dengan demikian, pemilihan jenis pipa harus mempertimbangkan faktor efisiensi energi, terutama dalam sistem yang memerlukan aliran fluida dengan kehilangan energi yang minimal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan pipa dengan permukaan lebih halus seperti PVC dapat mengurangi kehilangan energi dalam sistem perpipaan. Selain itu, metode Darcy-Weisbach lebih disarankan dalam analisis hidraulika yang membutuhkan ketelitian lebih tinggi karena memperhitungkan karakteristik aliran secara lebih detail dibandingkan metode Hazen-Williams. Temuan ini dapat menjadi dasar dalam pemilihan jenis pipa yang lebih efisien untuk sistem perpipaan, terutama pada aplikasi yang memerlukan optimalisasi energi dalam mengalirkan fluida. Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem perpipaan penting untuk mempertimbangkan tidak hanya dimensi dan debit fluida, tetapi juga jenis material pipa guna mengoptimalkan efisiensi hidraulis dan mengurangi kehilangan energi yang tidak diinginkan.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Pengaruh karakteristik aliran fluida terhadap keakuratan prediksi kehilangan energi pada pipa PVC dan Galvanis menunjukkan bahwa aliran dalam kedua pipa tergolong turbulen, dengan bilangan Reynolds berkisar antara  $23.838,40$  hingga  $37.451,92$ . Aliran turbulen ini menyebabkan peningkatan kehilangan energi, terutama pada pipa Galvanis yang memiliki permukaan lebih kasar. Saat terjadi perubahan arah aliran, turbulensi meningkat, menyebabkan kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan dengan aliran stabil. Metode Darcy-Weisbach lebih sensitif terhadap perubahan karakteristik aliran karena mempertimbangkan faktor gesekan yang bergantung pada bilangan Reynolds dan kekasaran pipa. Sementara itu, metode Hazen-Williams lebih sederhana karena tidak secara eksplisit memperhitungkan perubahan bilangan Reynolds, sehingga kurang akurat dalam kondisi aliran turbulen yang signifikan.
- 2) Perbandingan kehilangan energi pada pipa PVC dan Galvanis berdasarkan metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams menunjukkan bahwa kehilangan energi pada pipa Galvanis lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC untuk debit yang sama. Hal ini disebabkan oleh permukaan pipa Galvanis yang lebih kasar, sehingga meningkatkan faktor gesekan ( $f$ ) dan kehilangan energi. Dari hasil perhitungan, metode Darcy-

Weisbach menghasilkan kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan metode Hazen-Williams, dengan selisih rata-rata sekitar 10% hingga 20% untuk pipa PVC dan 15% hingga 25% untuk pipa Galvanis. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode Darcy-Weisbach lebih akurat dalam memprediksi kehilangan energi, terutama dalam kondisi aliran turbulen yang dipengaruhi oleh kekasaran pipa dan perubahan arah aliran. Oleh karena itu, untuk analisis yang lebih akurat dalam sistem perpipaan dengan variasi aliran dan permukaan pipa yang berbeda, metode Darcy-Weisbach lebih direkomendasikan.

## B. Saran

- 1) Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis kehilangan energi pada pipa PVC dan Galvanis menggunakan metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams, disarankan untuk meningkatkan akurasi pengukuran dengan menggunakan alat ukur yang lebih presisi guna meminimalkan kesalahan perhitungan. Selain itu, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan variasi diameter dan jenis material pipa untuk memahami pengaruhnya terhadap kehilangan energi serta akurasi metode yang digunakan. Kajian lebih lanjut mengenai kehilangan energi pada berbagai kondisi aliran, termasuk variasi kecepatan dan turbulensi, juga diperlukan agar hasil analisis lebih komprehensif.
- 2) Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mempertimbangkan variasi kecepatan aliran, turbulensi, serta sistem perpipaan yang lebih kompleks, seperti jaringan distribusi air atau sistem industri. Selain itu, validasi hasil penelitian dengan data eksperimental yang lebih luas dan jangka waktu pengambilan data yang lebih panjang dapat meningkatkan keandalan hasil analisis.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Alkindi, H., Santosa, H., & Sutoyo, E. (2023). Analisis Head Losses Pada Circulating Fluida Air Dalam Dua Jenis Pipa. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1), 51–56.
- Dahlan, M., Duma, G. A., Azis, N., Pradana, I., Sulfiana, E., Nurul, M., & Amaluddin, H. (2024). Analisis Perbandingan Kerugian Aliran Pada Pipa Jenis PVC dan Galvanis Dengan Menggunakan Elbow 90 Derajat Politeknik ATI Makassar, Makassar Universitas Hasanuddin, Makassar Pendahuluan Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak pernah terpisahkan dengan si. 6, 149–158.
- 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>
- Imam, M. I., & Mukhibullah. (2019). Analisis Penambahan Pipa Distribusi Air Bersih Pada Jembatan Diatas Sungai Batee Iliék Samalanga Bireuen. *Jurnal Infrastruktur*, 5(2), 111–116. <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v5i2.790>
- Luthfi, M., & Yulianto, T. (2023). Rancang Bangun Prototipe Fluid Friction Apparatus untuk Menganalisis Kehilangan Energi (Head Loss) dengan Varias Diameter Pipa. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 5(1), 29–35. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v5n1.p29-35>
- Mechram, S. (2008). Head Loss Determination along Pipe of Drip Irrigation System using Small Pipe Emitter Made From Local Material. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(2), 114–120.
- Musa, R., Azzaharah, N. I., Tri, A., Phacella, S., & Mallombassi, A. (2024). Analisis Kehilangan Energi Dan Tinggi Tekanan Pada Titik Sambungan Pipa Dengan

*Diameter Yang Bervariasi. 1, 1–8.*

- Musa, R., Muh, A., Makalalag, G., Azis, M. N., Mallombassi, A., & Amin, A. (2024). *Pengaruh Variasi Sudut Belokan Terhadap Kehilangan Energi Pada Pipa Jenis PVC. 1, 1–9.*
- Musa, R., Rachmayanti, H., & Mallombasi, A. (2022). Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Dengan Menggunakan Software HEC HMS (Studi Kasus DAS Saddang). *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur Dan Sains, 1(1), 1–9.*
- Musa, R., Tenri, A., & Mallombassi, A. (2022). Analisa Kinerja Sistem Pendistribusian Air PDAM Kota Palopo: Studi Kasus Sumber Air Baku Batupapan. *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur Dan Sains, 1(12), 50–61.*
- Mustakim, M., & Syakura, A. (2015). Pengaruh Reynold Number (  $Re$  ) Terhadap Head Losses Pada Variasi Jenis Belokan Pipa ( Berjari – Jari Dan Patah ). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 3(2)*. <https://doi.org/10.24127/trb.v3i2.14>
- Rafiq, M. A. (2022). *Perbandingan Simulasi Debit Aliran Pipa Dengan Persamaan Darcy-Weisbach Dan Hazen-Williams. 15.*
- Rahayu, P., Putri, D. K., & Indriyani, N. (2021). Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss. *Jurnal Agitasi, 2(2), 2776–513.*
- Rusli, K., & Susanto, A. (2019). Perhitungan Debit pada Sistem Jaringan Pupa dengan Metoda Hardy-Cross Menggunakan Rumus Hazen-Williams dan Rumus Manning. *Jurnal Teknik Sipil, 5(1), 40–60*. <https://doi.org/10.28932/jts.v5i1.1311>
- White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics Ei g ht h E d it ion Publisher: Mechassis.com Chemie.ir. www.mechassis.com*