

Analisis Perbandingan Kerugian Aliran Pada Pipa Jenis PVC dan Galvanis Dengan Menggunakan Elbow 90 Derajat

Masbin Dahlan¹⁾, Gerard Antonini Duma²⁾, Nasruddin Azis³⁾ Iman Pradana A. Assagaf⁴⁾, Enni Sulfiana⁵⁾, Muh. Nurul Haq Amaluddin⁶⁾

^{1, 4-6)}Politeknik ATI Makassar, Makassar

^{2, 3)}Universitas Hasanuddin, Makassar

Masbin.dahlan@atim.ac.id

Abstrak

Pada suatu sistem perpipaan kerugian aliran (*head losses*) selalu terjadi. Kerugian aliran yang terjadi dalam pipa menyebabkan terjadinya pengurangan debit aliran. Hal ini, disebabkan karena beberapa faktor diantaranya adalah kekasaran permukaan dinding pipa dan akibat adanya sambungan (*fittings*) pipa. Kekasaran permukaan dari dinding pipa tergantung dari jenis-jenis pipa yang digunakan, seperti pada pipa galvanis dan PVC keduanya memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, dimana pipa galvanis memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar. Pada pipa PVC dengan debit aliran 0,00027 m³/s menghasilkan total *head losses* terkecil bernilai 0,2438 m pada metode Hazen-Williams kemudian pada debit aliran 0,00047 m³/s menghasilkan total *head losses* terbesar bernilai 1,4285 m pada metode Darcy-Weisbach. Pada pipa Galvanis dengan debit aliran 0,00027 m³/s menghasilkan total *head losses* terkecil bernilai 0,2623 m pada metode Hazen-Williams kemudian pada debit aliran 0,00047 m³/s menghasilkan total *head losses* terbesar bernilai 2,4100 m pada metode Darcy-Weisbach. Sehingga hubungan antara debit aliran dengan kerugian aliran berbanding lurus dan kekasaran permukaan juga berbanding lurus dengan kerugian aliran. Kerugian aliran terbesar ada pada pipa Galvanis dengan debit aliran 0,00047 m³/s dan total *head losses* 2,4100 m di metode Darcy-Weisbach. Kerugian aliran terkecil ada pada pipa PVC dengan debit aliran 0,00027 m³/s dan total *head losses* 0,2623 m di metode Hazen-Williams.

Kata Kunci: kerugian aliran, pipa PVC dan Galvanis, kekasaran permukaan, debit

Abstract

Within a piping system, head losses during flow are inevitable. These head losses serve as a determinant impacting the pipe's capacity as a conduit for fluid transport, encompassing both liquid and gas mediums. The occurrence of flow-related losses in pipes leads to a reduction in flow rate. This phenomenon is attributed to several factors, including the surface roughness of the pipe walls and the presence of pipe fittings. The extent of surface roughness on pipe walls is contingent upon the types of pipes used. For instance, galvanized and PVC pipes exhibit differing values of surface roughness, with galvanized pipes demonstrating greater roughness. In the case of PVC pipes, with a flow rate of 0,00027 m³/s, the least recorded total head loss was 0.2438 m using the Hazen-Williams method. Conversely, at a flow rate of 0,00047 m³/s, the highest recorded total head loss was 1,4285 m using the Darcy-Weisbach method. Similarly, for galvanized pipes, a flow rate of 0,00027 m³/s resulted in the smallest total head loss of 0,2623 m using the Hazen-Williams method. As the flow rate increased to 0,00047 m³/s, the highest total head loss observed was 2,4100 m using the Darcy-Weisbach method. Hence, the relationship between flow rate and flow-related losses is directly proportional. Additionally, surface roughness exhibits a proportional relationship with flow-related losses. Notably, the most substantial flow-related loss occurred in the context of galvanized pipes with a flow rate of 0,00047 m³/s, resulting in a total head loss of 2,4100 m using the Darcy-Weisbach method. Conversely, the least flow-related loss was observed in PVC pipes with a flow rate of 0,00027 m³/s, yielding a total head loss of 0,2623 m using the Hazen-Williams method.

Keywords: head losses, PVC and galvanized pipe, surface roughness, discharge

Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak pernah terpisahkan dengan sistem perpipaan dan fluida untuk memenuhi kebutuhan hidup (Dr Muhammad Sajid Assistant Professor NUST, 2017). Sistem Perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan (*equipment*) dari suatu tempat ke tempat yang lain atau digerakkan dari suatu tempat ke tujuan yang diinginkan, proses transportasi fluida dilakukan dengan bantuan pompa, kompresor, maupun dengan memanfaatkan gravitasi bumi (Febrianto et al., 2018). Suatu sistem perpipaan tidak dapat dipisahkan dengan fluida, fluida adalah tujuan utama dibuatnya suatu sistem perpipaan, tanpa adanya fluida suatu sistem perpipaan tidak akan ada gunanya (Hadi & Jumarlis, 2013).

Fluida dapat diartikan sebagai zat yang bisa berubah bentuk sesuai dengan bidang atau bentuk yang dialirinya. Ketika fluida mengalir suatu media, fluida akan mengalami kerugian aliran sesuai dengan media yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan aliran fluida kurang maksimal. Salah satu contoh kerugian energi yang terjadi pada aliran fluida adalah penampang yang menyebabkan reaksi berkelanjutan di dalam pipa. Kerugian ini dapat mengakibatkan gesekan fluida dengan permukaan dalam dinding pipa dan juga komponen yang terdapat pada sistem perpipaan tersebut (Eka Putra et al., 2017).

Rugi-rugi aliran yang terjadi pada pipa biasa disebut dengan *head losses*. *Head losses* ini merupakan suatu bentuk kehilangan energi mekanik per satuan massa fluida yang mengalir melalui pipa. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair. Hal ini disebabkan oleh sifat molekul air yang lebih padat dibandingkan gas, sehingga menghasilkan gesekan yang lebih besar terhadap media yang dilaluinya. Semakin besar rugi aliran, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan fluida tersebut melalui sistem perpipaan. Sebagai contoh, dalam suatu sistem perpipaan yang memiliki banyak percabangan, rugi-rugi aliran yang dihasilkan akan semakin besar (Eka Putra et al., 2017). Hal ini berakibat pada peningkatan penggunaan energi listrik pada mesin penggerak fluida, seperti pompa, karena pompa harus bekerja lebih keras untuk mengatasi rugi-rugi aliran yang tinggi.

Selain itu, jenis pipa yang digunakan dalam sistem perpipaan juga mempengaruhi besarnya rugi aliran. Pipa dengan permukaan yang kasar akan menghasilkan gesekan yang lebih besar antara fluida dan dinding pipa dibandingkan dengan pipa yang permukaannya halus (Arbulu & Tommelein, 2002). Kekasaran permukaan pipa ini dapat

disebabkan oleh material pipa itu sendiri atau oleh endapan yang menumpuk di dinding pipa seiring waktu (Dannaazar et al., 2020). Oleh karena itu, pemilihan jenis pipa yang tepat dan perawatan rutin untuk mengurangi endapan di dalam pipa merupakan langkah penting dalam mengurangi rugi-rugi aliran dan meningkatkan efisiensi sistem perpipaan. Dalam konteks rekayasa dan desain sistem perpipaan, perhitungan rugi-rugi aliran menjadi sangat krusial (Ilmiah Aplikasi Teknologi et al., 2022). Insinyur harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti panjang dan diameter pipa, jumlah tikungan dan sambungan, serta jenis dan kondisi permukaan pipa. Semua faktor ini akan mempengaruhi besarnya head losses dan, pada akhirnya, menentukan kebutuhan energi yang diperlukan untuk memindahkan fluida dari satu titik ke titik lainnya (Dewantara, 2020).

Selain itu, upaya untuk meminimalkan rugi aliran juga dapat mencakup penggunaan teknologi terbaru dalam desain pipa, seperti pipa dengan lapisan dalam yang licin atau bahan komposit yang mengurangi gesekan. Pemilihan pompa yang efisien dan penyesuaian kecepatan aliran fluida juga dapat membantu mengurangi rugi aliran. Semua ini menunjukkan bahwa manajemen rugi aliran merupakan aspek yang kompleks namun penting dalam pengoperasian sistem perpipaan yang efisien dan hemat energi (Amevi Acakpovi et al., 2012).

Metode

Alat dan Bahan yang digunakan adalah gergaji, *pressure gauge*, *couple female*, *reservoir*, pompa, *stopwatch*, gelas ukur, ember, mesin las, bor listrik, mesin gerinda, pipa support (penyangga pipa), tang, busur derajat, meteran, Pipa PVC ($\frac{3}{4}$, 1, dan 2 inch), pipa galvanis, elbow 90° (PVC dan Galvanis) ukuran 2-inch, 1 inch, $\frac{3}{4}$ inch; *socket reducer*, katup, soket drat luar, selang timbang, besi siku, lem besi, isolasi pipa, lem pipa.

Mayor Losses

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *major losses* ada dua metode yaitu metode Hazen-Williams dan Darcy-Weisbach, menurut (Haidar et al., 2022) persamaan Hazen-Williams yaitu:

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^2 \times L}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \quad (1)$$

Dan menurut S. Abdulameer pada tahun 2022 adalah persamaan Darcy-Weisbach:

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

Minor Losses

Kehilangan tekanan *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi karena adanya gesekan antara fluida dengan sambungan pipa seperti belokan pipa (*elbow*), katub (*valve*), percabangan (*tee*) dan perubahan penampang. (Ermadi, dkk. 2018). Persamaan yang digunakan menurut Zaid Hafiz pada tahun 2019 adalah:

$$h_{l, \text{minor}} = f \frac{v^2}{2 \times g} n \quad (3)$$

Tekanan Aliran

Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan (R. Siti, 2021). Untuk mengetahui perubahan tekanan persamaan yang digunakan menurut Izhari Siregar pada tahun 2021 dengan menggunakan manometer dan pressure gauge adalah:

$$P_A = P_{\text{atm}} + h_2 \gamma_2 h_1 \gamma_1 \quad (4)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

Koefisien Hazen-Williams

Koefisien ini dapat kita temukan pada persamaan Hazen-William's 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 (Zaid, dkk. 2019).

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (6)$$

$$S = \frac{H_l}{L} \quad (7)$$

Laju Aliran Massa

Mass flow rate atau laju aliran massa adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu dimana dalam satuan internasional (SI) satuannya adalah kilogram per detik (kg/s) (D. Dewantara, 2020). Persamaan yang digunakan adalah:

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (8)$$

Bilangan Reynold

Bilangan *Reynold* digunakan untuk menentukan jenis aliran yang terjadi pada kondisi dalam dan luar pipa. Bilangan *Reynold* lebih kecil dari 2300 dinyatakan laminar ($Re < 2300$). Alirannya turbulen jika bilangan *Reynold* lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$). Dan bilangan *Reynold* disebut transisi diantara apabila nilainya 2300 dan 4000 ($2300 < Re < 4000$) (Zainudin, 2012).

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (9)$$

Faktor Gesek:

Untuk mengukur penurunan gesekan dalam pipa aliran, hubungan Darcy-Weisbach biasanya digunakan, salah satu bagian dari hubungan tersebut adalah faktor gesekan Darcy. Satu hubungan yang tepat untuk mengukur koefisien ini adalah persamaan Colebrook-White (S. Kazeemi, 2014).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (10)$$

Dimana:

- f : Faktor Gesek (friction factor)
 ε : Kekasaran Permukaan Pipa (m)
 D : Diameter Pipa (m)
 Re : Bilangan Reynold

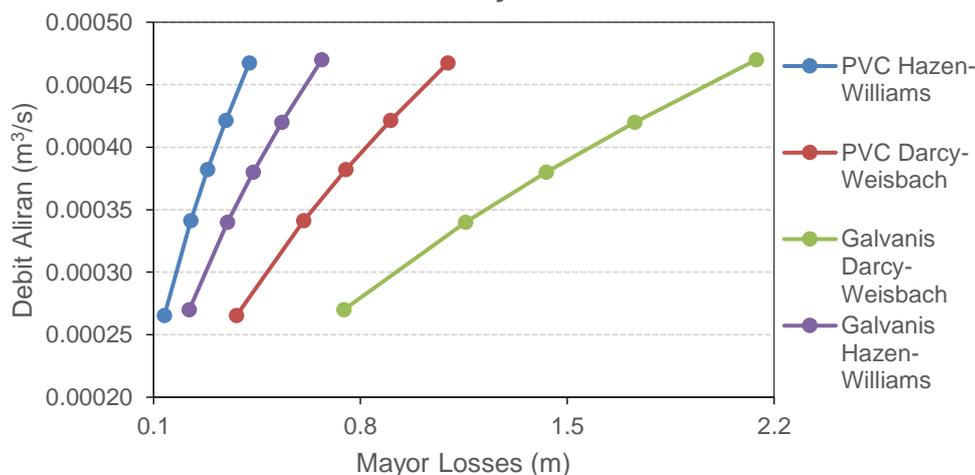
Laju Aliran Fluida

Perubahan tekanan di dalam pipa pengujian terjadi seiring bertambahnya laju aliran fluida. Semakin besar laju aliran fluida dalam pipa maka semakin kecil tekanan yang terjadi pada fluida (U. Dharma, 2012). Untuk memperhitungkan laju aliran fluida di dalam pipa kita dapat menggunakan persamaan menurut U. Dharma pada tahun 2012 yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

Hasil dan Pembahasan

Debit & Mayor Losses



Gambar 1. Hubungan antara debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

Tabel 1. Data debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

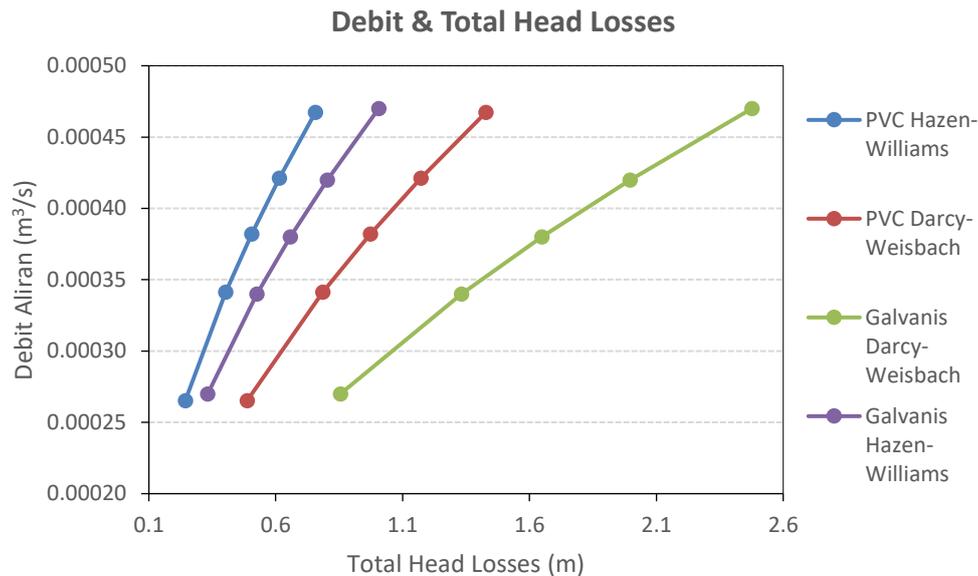
Jenis pipa	Pembukaan katup (e)	Debit aliran (m^3/s)	<i>Major losses</i>	
			Metode Darcy-Weisbach	Metode Hazen-Williams
PVC	50	0.00027	0.3805	0.1365
	60	0.00034	0.6085	0.2260
	70	0.00038	0.7510	0.2830
	80	0.00042	0.9023	0.3443
	90	0.00047	1.0959	0.4236
Galvanis	50	0.00027	0.5933	0.1745
	60	0.00034	1.1175	0.3380
	70	0.00038	1.3675	0.4178
	80	0.00042	1.6664	0.5143
	90	0.00047	2.0830	0.6504

Pada tabel 1 dan gambar 1, dapat kita temukan bahwa a hubungan antara debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari kedua metode perhitungan *major losses*. Dapat kita lihat pada pipa PVC, di pembukaan katup 50° sebagai debit terkecil dengan nilai debit $0,00027 m^3/s$ didapatkan nilai *major losses* terkecil pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai $0,3805 m$ dan $0,1365 m$. Sedangkan untuk pembukaan katup 90° sebagai debit terbesar dengan nilai debit $0,00047 m^3/s$ dihasilkan nilai *major losses* terbesar pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai $1,0959 m$ dan $0,3443 m$. Untuk pada pipa Galvanis, di pembukaan katup 50° sebagai debit terkecil dengan nilai debit $0,00027 m^3/s$ ditemukan nilai *major losses* terkecil pula pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai $0,5933 m$ dan $0,1745 m$. Sedangkan untuk pembukaan katup 90° sebagai debit terbesar dengan nilai debit $0,00047 m^3/s$ dihasilkan pula nilai *major losses* terbesar pada metode Darcy-Weisbach dan Hazen-Williams dengan nilai $2,0830 m$ dan $0,6504 m$.

Nilai debit suatu aliran sangat mempengaruhi *major losses* dalam instalasi perpipaan. Debit aliran berbanding lurus dengan *major losses*, seperti dinyatakan dalam persamaan (1) untuk metode Hazen-Williams dan persamaan (2) untuk metode Darcy-Weisbach. Menurut persamaan (10), debit aliran berbanding lurus dengan kecepatan aliran. Kekasaran permukaan pipa, seperti pipa Galvanis yang lebih kasar dibandingkan PVC, mempengaruhi faktor gesek dan *major losses*. Pada metode Hazen-Williams,

koefisien C yang lebih kecil menunjukkan kekasaran permukaan yang lebih besar, seperti pada pipa Galvanis, yang memiliki *major losses* lebih tinggi dibandingkan pipa PVC.

Adapun penyebab mengapa nilai *major losses* dari metode Darcy-Weisbach lebih besar daripada metode Hazen-Williams dikarenakan pada metode Darcy-Weisbach memiliki banyak faktor yang diperhitungkan seperti dalam faktor gesek terdapat nilai kekasaran permukaan dan bilangan Reynold dan lain-lain.



Gambar 2. Hubungan antara debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

Tabel 2. Data debit aliran (Q) dan *major losses* (h_f) pada metode Darcy-Weisbach dan Metode Hazen-Williams pada variasi pembukaan katup

Jenis pipa	PK (°)	Debit aliran (m³/s)	Metode <i>major losses</i> (m)		<i>Minor losses</i>	Total head losses (m)	
			Hazen-Williams	Darcy-Weisbach		HW	DW
PVC	50	0.00027	0.3805	0.1365	0.1072	0.2438	0.4877
	60	0.00034	0.6085	0.2260	0.1775	0.4034	0.7860
	70	0.00038	0.7510	0.2830	0.2223	0.5053	0.9733
	80	0.00042	0.9023	0.3443	0.2704	0.6147	1.1727
	90	0.00047	1.0959	0.4236	0.3327	0.7562	1.4285
Galvanis	50	0.00027	0.5933	0.1745	0.0877	0.2623	0.6811
	60	0.00034	1.1175	0.3380	0.1699	0.5079	1.2874
	70	0.00038	1.3675	0.4178	0.2100	0.6278	1.5775
	80	0.00042	1.6664	0.5143	0.2586	0.7729	1.9249
	90	0.00047	2.0830	0.6504	0.3270	0.9774	2.4100

Pada tabel 2 dan gambar 2 terlihat bahwa hubungan antara debit aliran (Q) dan Total head losses ($h_{l,total}$) berbanding lurus pada kedua jenis pipa dari setiap metode perhitungan head losses. Pada pipa PVC metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu $1,0959 \text{ m}$ dan $0,3327 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terbesar pula dengan nilai $1,4285 \text{ m}$. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu $0,3805 \text{ m}$ dan $0,1072 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terkecil pula dengan nilai $0,4877 \text{ m}$. Pada pipa PVC metode Hazen-Williams dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu $0,4236 \text{ m}$ dan $0,3327 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terbesar pula dengan nilai $0,7562 \text{ m}$. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu $0,1365 \text{ m}$ dan $0,1072 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terkecil pula dengan nilai $0,2438 \text{ m}$. Untuk pipa Galvanis metode Darcy-Weisbach dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu $2,0830 \text{ m}$ dan $0,3270 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terbesar pula dengan nilai $2,4100 \text{ m}$. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu $0,5933 \text{ m}$ dan $0,0087 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terkecil pula dengan nilai $0,6811 \text{ m}$. Pada pipa Galvanis metode Hazen-Williams dapat kita lihat pada pembukaan katup 90° dengan debit $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terbesar yaitu $0,6504 \text{ m}$ dan $0,3270$ sehingga menghasilkan total head losses terbesar pula dengan nilai $0,9774 \text{ m}$. Sedangkan pada pembukaan katup 50° dengan debit $0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$ dihasilkan *major losses* dan *minor losses* terkecil yaitu $0,1745 \text{ m}$ dan $0,0087 \text{ m}$ sehingga menghasilkan total head losses terkecil pula dengan nilai $0,2623 \text{ m}$.

Hal ini, dapat kita tinjau pada persamaan (1) dimana pada metode Hazen-William's debit aliran berbanding lurus dengan *major losses* yang akan dihasilkan dan pada metode Darcy-Weisbach di persamaan (2) dapat kita lihat bahwa kecepatan berbanding lurus dengan *major losses* yang akan dihasilkan, sedangkan kecepatan berbanding lurus dengan debit yang dihasilkan dapat kita tinjau pada persamaan (10). Begitupula dengan *minor losses* dapat kita tinjau pada persamaan (3) dimana kecepatan berbanding lurus dengan *minor losses* yang akan dihasilkan. Selain itu, kekasaran

permukaan juga sangat mempengaruhi besarnya *mayor losses* sehingga total *head losses* yang dihasilkan juga terpengaruh, dapat kita lihat pipa Galvanis memiliki kekasaran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC. Sehingga, *mayor losses* yang dihasilkan pada pipa Galvanis lebih besar dibandingkan pipa PVC, selisih kerugian aliran yang dihasilkan juga cukup besar hal ini dikarenakan selisih kekasaran permukaan pipa PVC dan Galvanis juga lumayan besar. Jadi *mayor losses* yang dihasilkan suatu pipa sangat bergantung pada kekasaran permukaan pipa.

Simpulan dan Saran

Dengan adanya perbedaan jenis pipa yaitu pipa PVC dan Galvanis maka dapat memberikan pengaruh terhadap kerugian aliran (*head losses*). Dalam hal ini, pengaruh kekasaran permukaan sangat berpengaruh pada kerugian gesek (*mayor losses*) dan sambungan pipa (*fittings*) berpengaruh pada *minor losses* dimana ketika kekasaran permukaan semakin besar dan jumlah sambungan semakin banyak maka kerugian gesek akan semakin besar dan kerugian aliran semakin besar pula. Dapat disimpulkan bahwa pipa Galvanis memiliki nilai kerugian aliran lebih besar dibandingkan dengan pipa PVC.

Saran untuk penelitian kedepan adalah menambahkan poin penelitian yakni mengukur tegangan geser yang terjadi dalam pipa agar perubahan tekanan yang dihasilkan lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin dan Politeknik ATI Makassar yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat tersusun dengan baik.

Daftar Pustaka

- Amevi Acakpovi, Fifatin François Xavier, & Robert Awuah-Baffour. (2012). *Analytical Method Of Sizing Photovoltaic Water Pumping System*. Ieee.
- Arbulu, R. J., & Tommelein, I. D. (2002). *Alternative supply-chain configurations for engineered or catalogued made-to-order components: case study on pipe supports used in power plants*.
- Dannaezar, Hanny Hosiana Tumbelaka, & Heri Saptono Warpindyasmoro. (2020). Pemanfaatan Aliran Air Dari Tandon Air Atas Rumah Tangga Sebagai Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, 13, 19–24.

- Dewantara, D. (2020). *Analisa Dan Perhitungan Laju Aliran Massa Air Pada Cooling Tower Di Mesin Heat Chamber*.
- Dr Muhammad Sajid Assistant Professor NUST, SMME. (2017). *Fluid Mechanics-I*.
- Eka Putra, I., Ari Galsha, dan, & Gajah Mada Kandis Nanggalo, J. (2017). Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC. *Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4)*. <https://doi.org/10.21063/PIMIMD4.2017.34-39>
- Febrianto, I., Kabib, M., & Satya Nugraha, B. (2018). Perancangan Sistem Pompa Paralel Dengan Daya Bervariasi Untuk Meningkatkan Kapasitas Air. *Jurnal CRANKSHAFT, 1*(1).
- Hadi, S., & Jumarlis, D. (2013). Pengaruh Lingkungan Minyak Mentah Terhadap Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon Dan Pipa Galvanis. In *Jurnal Teknik Mesin* (Vol. 3, Issue 2).
- Haidar, M., Hilmy, N., Roostrianawaty, N., & Mt, S. T. (2022). *Optimasi Diameter Pipa Dalam Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih Di Kecamatan Wonotirto Kabupaten Blitar Provinsi Jawa Timur*.
- Ilmiah Aplikasi Teknologi, A., Fathoni, A., Subekti, P., & Hakim, L. (2022). Pembuatan dan Pengujian Alat Uji Sistem Perpipaan Skala Laboratorium. *JURNAL APTEK* , *14*(2), 87–93. <http://journal.upp.ac.id/index.php/aptek>