

Tinjauan Penelitian Tentang Simulasi Penurunan Tekanan Akibat Rugi – Rugi Aliran Pada Instalasi Pipa

Agus Setiawan Wibowo¹, Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra¹,
Muhamad Fitri¹, dan Dedik Romahadi¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: bowo9230@gmail.com

Abstrak-- Pipa merupakan komponen yang banyak digunakan untuk pendistribusian fluida dan relatif murah digunakan karena banyak jenis, bentuk serta ukurannya. Fluida yang dialirkan menentukan jenis dan bentuk dari instalasi pipa yang dibutuhkan dan pendistribusian jaringan pipa sering menggunakan sambungan pipa (fittings), pipa lengkung (elbow), maupun flange. Penggunaan sambungan akan menimbulkan permasalahan kompleks pada instalasi pipa yaitu rugi-rugi aliran dalam pipa yang berupa rugi-rugi mayor maupun minor. Penelitian dilakukan dengan tinjauan literatur rugi-rugi aliran pipa dengan merekapitulasi metode–metode yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya penurunan tekanan maupun rugi mayor dan minor, serta merekapitulasi faktor-faktor yang menjadi penyebab penurunan tekanan pada instalasi pipa. Setelah dikumpulkan jurnal terkait kemudian dipelajari lebih lanjut sehingga dihasilkan sebuah peluang pengembangan dan inovasi yang berkaitan dengan simulasi penurunan tekanan pada uji rugi-rugi aliran dalam instalasi pipa. Pengembangan dan inovasi ini dapat dijadikan sebagai dasar pengembangan penelitian lebih lanjut untuk diwujudkan menjadi rancangan alat uji rugi-rugi aliran.

Kata kunci: Penurunan tekanan, mayor losses, minor losses, pipa

Abstract-- Pipes are components that are widely used for fluid distribution and are relatively inexpensive to use because of their many types, shapes and sizes. The fluid that flows determines the type and shape of the required pipe installation and distribution of the pipeline network, often using fittings, elbows, or flanges. The use of the connection will cause complex problems in the pipe installation, namely flow losses in the pipe in the form of major and minor losses. The study was conducted by reviewing the literature on pipe flow losses by recapitulating the methods used to detect the occurrence of pressure drops as well as major and minor losses, as well as recapitulating the factors that cause pressure drops in pipe installations. After collecting the relevant journals, they will be studied further so that there is an opportunity for development and innovation related to the simulation of pressure drop in flow loss tests in pipe installations. These developments and innovations can be used as the basis for further research development to be realized into the design of a flow loss test tool.

Keywords: Pressure drop, Mayor losses, Minor losses, Pipes

1. PENDAHULUAN

Peneliti dunia diantaranya banyak yang melakukan penelitian berupa Tinjauan literatur dengan berbagai tujuan, misalnya untuk meninjau sejauh mana penelitian satu bidang tertentu sehingga peneliti lain yang ingin meneliti tentang hal tersebut cukup melanjutkannya. Selain itu mencari peluang inovasi dari penelitian satu bidang tertentu [1], atau untuk menentukan hal yang dibutuhkan dalam penelitian tertentu [2].

Permasalahan pada instalasi pipa sangat kompleks, karenanya pembelajaran tentang pompa dan juga rugi-rugi aliran dalam pipa yang berupa rugi-rugi mayor maupun minor perlu terus

dilakukan dan diinovasi. Karena permasalahan ini, banyak penelitian yang berkaitan dengan desain alat uji yang terkait dengan prestasi pompa [3][4].

Di dunia industri, pipa merupakan komponen yang banyak digunakan untuk pendistribusian fluida dalam membantu proses produksi seperti air, oli, dan fluida lainnya. Pada umumnya pipa lengkung sering digunakan untuk mengubah arah aliran pipa. Pipa lengkung ataupun *elbow* terdiri dari bermacam-macam klasifikasi, tergantung dari radius lengkung dan sudut lengkungnya [5]. Belokan pada pipa lengkung memiliki nilai penurunan tekanan yang besar dibandingkan pipa lurus. Hal ini

disebabkan karena adanya perubahan geometri dan lintasan aliran fluida. Akibatnya muncul pola aliran terpisah yang berdampak pada penurunan tekanan yang tinggi [6].

Metode Elemen Hingga telah digunakan banyak peneliti dalam penelitian baik dalam mendesain maupun dalam analisis. Diantaranya adalah penelitian untuk mendesain Komponen Utama Alat Uji Konstanta Pegas Untuk Kapasitas 50 N/mm. [7]. Penelitian lain terkait Analisis Statik Plat Pengaku pada Ladder Frame Chassis Untuk Kendaraan Pedesaan [8]. Selain itu ada juga penelitian terkait analisis aerodinamik pada *body* mobil untuk mendapatkan koefisien Drag-nya [8]. Penelitian-penelitian tersebut berhasil menggunakan metode elemen hingga berupa simulasi pada desain kendaraan ataupun alat, sehingga bisa memastikan secara simulasi kelayakannya berdasarkan faktor *safety*-nya.

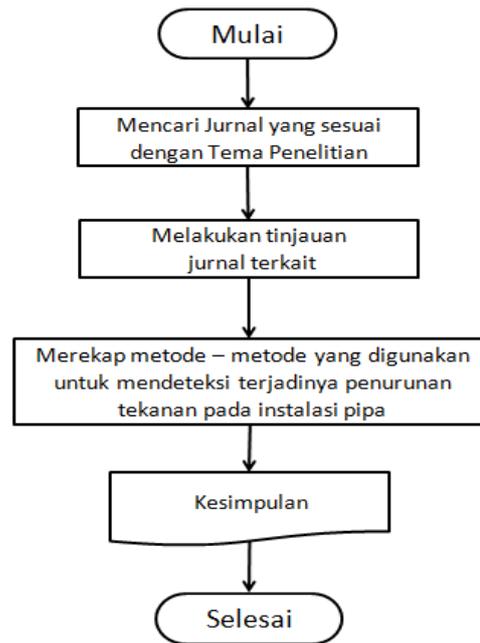
Penggunaan sambungan pipa (sudut belokan pipa 90°, 60° dan 45°) menghasilkan terjadinya penurunan tekanan maksimum tertinggi ada pada sudut belokan pipa 90° dan terendah ada pada sudut belokan pipa 45° [5]. Selain itu bentuk geometri komponen pipa, kekasaran penampang pipa, jenis dan jumlah pipa yang digunakan mempunyai pengaruh terhadap terjadinya penurunan tekanan pada alat uji rugi-rugi aliran. [9].

Penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa setiap instalasi pipa mengalami penurunan tekanan ataupun terjadi rugi-rugi aliran. Tujuan dari penelitian ini adalah merekapitulasi metode-metode yang telah digunakan untuk melakukan simulasi penurunan tekanan fluida pada instalasi pipa, selanjutnya juga merekapitulasi faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan tekanan fluida dalam instalasi pipa.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan proses yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian digambarkan dalam gambar diagram alir pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Adapun penjelasan diagram alir sbb:

- Mencari dan mengumpulkan literatur sesuai tema penelitian
Mencari dan mengumpulkan jurnal internasional, nasional bereputasi maupun tidak berputasi serta materi yang didapat dari buku dengan batas penerbitan maksimal 20 tahun terakhir. Untuk jurnal dibatasi paling maksimal diterbitkan 10 tahun terakhir.
- Tinjauan literatur
Memahami isi dari literatur yang telah dikumpulkan. Proses ini merupakan proses utama dimana materi yang telah ditampilkan pada jurnal maupun buku nantinya akan dirangkum yang mana fokus penelitian adalah merangkum faktor-faktor yang menyebabkan penurunan tekanan ataupun terjadi rugi-rugi aliran pada instalasi pipa. Kemudian, merekap metode apa saja yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya rugi-rugi aliran pada instalasi pipa.
- Merangkum hasil tinjauan literatur
Literatur yang telah dikumpulkan dan ditinjau kemudian disatukan menjadi satu untuk kemudian ditinjau kembali. Hasil dari tinjauan tersebut kemudian akan ditampilkan dalam bentuk jurnal tinjauan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi Pengujian Penurunan Tekanan

Pada suatu sistem perpipaan, aliran fluida akan mengalami rugi-rugi aliran yaitu berkurangnya masa, volume dan kecepatan suatu fluida [10]. Kehilangan energi akibat terjadinya gesekan pada sebuah pipa merupakan gangguan atau hambatan yang tidak bisa dihindarkan [9]. Disamping itu, penurunan tekanan terjadi ketika sebuah aliran melewati sambungan pipa, katup, belokan dan beberapa komponen lainnya yang terpasang pada instalasi pipa. Hal ini disebabkan adanya pergesekan antara fluida dengan permukaan pipa [11]. Terdapat 2 jenis penurunan tekanan, yaitu [11]:

- Major Losses*, merupakan kerugian tekanan akibat gesekan sepanjang pipa.
- Minor Losses*, merupakan kerugian tekanan yang disebabkan penggunaan sambungan (*joints*), siku (*elbow*), katup (*valve*), dan *reducer*.

Pada penelitian lainnya menyebutkan ada 3 tipe aliran pada fluida yang mengalir di dalam pipa, yaitu [12]:

1. Aliran Laminer
2. Aliran Transisi
3. Aliran Turbulen

Penelitian simulasi penurunan tekanan dengan bantuan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)* telah dilakukan dengan variable bebas yaitu laju alir dan jenis fluida yang dialirkan pada pipa sepanjang 10 m yang dipasang sambungan L. Dihasilkan bahwa simulasi pada sambungan pipa L dengan variasi jenis fluida dan laju alir dimana penurunan tekanan berbanding lurus dengan viskositas fluida. Apabila viskositas suatu fluida tinggi maka penurunan tekanan yang ditimbulkan juga semakin besar. Hal ini karena viskositas tinggi memiliki tahanan (hambatan) terhadap tekanan geser, tekanan geser merupakan tekanan yang diberikan pada fluida untuk bergerak [13].

Simulasi dengan bantuan *software Ansys Workbench 19.0* dan perhitungan monogram telah dilakukan. Variabel bebas yaitu 4 jenis *knee* berdiameter 1, 2, 3, dan 4 inch dan variabel terikatnya adalah *headloss* pada *knee*. Penelitian menghasikan pengaruh diameter *knee* terhadap *headloss* ada perbedaan nilai *headloss* ketika suatu fluida melewati sebuah *knee*. *Headloss* mengalami penurunan seiring bertambahnya diameter *knee*. *Headloss* terkecil dicapai pada diameter *knee* 4 inch dan kembali meningkat tajam pada diameter *knee* 6 inch. Sehingga dari penelitian ini didapatkan bahwa *knee* diameter 4 inch adalah *knee* terbaik karena memberikan

nilai *headloss* terkecil dibandingkan ketiga *knee* yang lain [14].

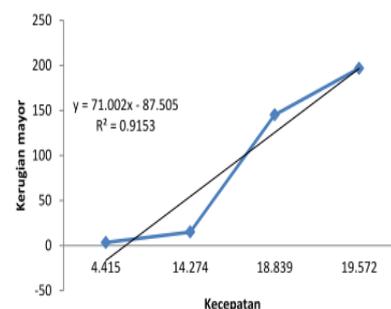
Pengujian simulasi numerik yang telah dilakukan pada instalasi pipa dengan debit air sebesar: 20, 25, dan 30 L/min dan variasi jarak *elbow* sebesar: 6, 12, 18 cm menghasilkan bahwa semakin besar debit semakin besar *pressure drop* yang terjadi. Pada jarak *elbow* 6 cm menunjukkan *pressure drop* terendah bila dibanding jarak *elbow* 12 cm dan 18 cm. Hal ini juga sesuai dengan persamaan *head losses mayor*, dimana *losses* pada pipa lurus berbanding lurus dengan panjang pipa [15].

3.2. Faktor penyebab rugi-rugi aliran pada Instansi Pipa

Rugi-rugi aliran pada instalasi pipa disebabkan oleh beberapa faktor yaitu pengaruh jumlah dan panjang pipa yang digunakan, perubahan penampang pipa, kecepatan fluida [9], indeks tekanan-viskositas dan viskositas awal oli hidrolik, panjang dan diameter dalam pipa, laju aliran, tekanan keluar [16], dan penggunaan sambungan pipa (*elbow*) dengan variasi sudut belokan 30°, 45°, 60°, dan 90° [17] [5]. Selain itu, laju aliran fluida merupakan salah satu faktor dari terjadinya perubahan tekanan pada instalasi pipa [18]. Hasil penelitian lain menyatakan nilai *pressure drop* fluida dalam perpipaan aliran fluida jenis bahan bakar dipengaruhi oleh *friction factor* yang akan mempengaruhi dari perhitungan nilai *major losses* yang dihasilkan [11].

3.3. Pessure Drop Pada Pipa Lurus

Penelitian rugi-rugi aliran pada pipa lurus telah dilakukan, menghasilkan terjadinya rugi-rugi aliran yaitu *mayor losses*. *Mayor losses* terjadi akibat gesekan antara fluida dengan dinding sepanjang pipa [19][12]. Semakin panjang dinding pipa maka semakin bertambah pula kerugian tekanan karena gesekannya dan *mayor losses* berbanding lurus dengan kecepatan air, yang artinya nilai kerugian mayor akan semakin besar ketika kecepatan debit semakin besar pula [19].



Gambar 2. Hubungan kerugian mayor dengan kecepatan [19]

3.4. Pessure Drop Pada Sambungan Pipa

Sambungan atau belokan pipa memiliki penurunan tekanan yang lebih besar dibanding pipa lurus dengan panjang sama [20]. Pada belokkan pipa dimana aliran fluida mengalir akan terjadi separasi yang megakibatkan terjadinya *head losses* dan semakin besar nilai sudut sambungan belokan pipa, maka semakin besar nilai rugi-rugi alirannya [17] [20]. Disamping itu, penelitian lain menghasilkan bahwa terjadinya penurunan tekanan pada sambungan pipa disebabkan karena gesekan fluida dengan dinding pipa. Semakin banyak belokan pada sistem perpipaan mengakibatkan semakin banyak jumlah *pressure drop* yang akan ditimbulkan [21].

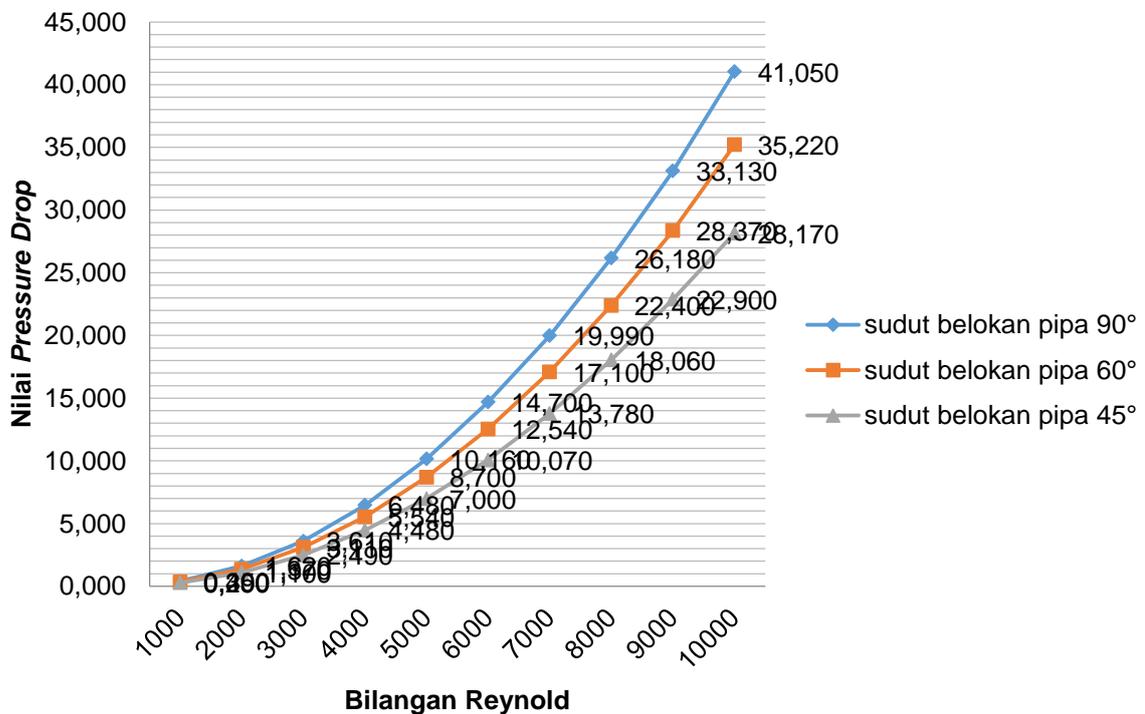
Simulasi rugi-rugi aliran pada variasi sambungan pipa telah dilakukan [17][5]. Hubungan pemakaian variasi sudut sambungan pipa (*elbow*) terhadap *mayor losses*, *minor losses*, *head losses* dan *pressure drop* ditampilkan pada tabel 1, menyatakan semakin besar variasi sudut sambungan pipa maka nilai

mayor losses, *head losses* dan *pressure drop* semakin besar dan untuk *minor losses* nilainya akan semakin kecil. Semakin besar nilai *pressure drop* maka bilangan Reynold semakin kecil, *pressure drop* meningkat disebabkan karena perbedaan tinggi tekanan meningkat sedangkan bilangan Reynold disebabkan oleh kecepatan fluida dalam pipa semakin menurun [17].

Tabel 1. Perbandingan penggunaan variasi sambungan pipa [17]

Belokan	Mayor Losses (mm)	Minor Losses (mm)	Head losses (mm)	Pressure Drop (N/m ²)
30°	51,03	22,20	73,23	907,606
45°	48,08	25,66	73,74	1072,625
60°	45,71	28,17	73,88	1113,880
90°	42,66	32,15	74,80	1278,899

Perbandingan bilangan Reynold dan *pressure drop* pada variasi sambungan Pipa



Gambar 3. Grafik Perbandingan nilai bilangan Reynold dan *pressure drop* pada variasi sambungan Pipa [5]

Gambar 3 merupakan grafik perbandingan antara nilai bilangan Reynold dan *pressure drop*. Nilai bilangan Reynold berbanding lurus dengan nilai *pressure drop*. Semakin besar bilangan Reynold maka semakin besar pula nilai *pressure drop* yang dihasilkan. Pada sudut belokkan pipa 90° mengalami penurunan tekanan yang sangat besar. Hal ini disebabkan karena aliaran yang mengalir membentuk sudut siku atau hambatan yang diakibatkan belokan yang terlalu tajam. dan mengalami gesekan yang besar dengan dinding permukaan pipa[5][22]. Dari hasil simulasi numerik menggunakan *software Solidworks* yang dilakukan pada desain pipa dengan sudut belokan 90°, 60° dan 45° dengan menggunakan perubahan variasi kecepatan aliran fluida yang diperoleh dari perhitungan nilai Reynold 1000 – 10000 sudut belokan terbukti berpengaruh terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) aliran. Semakin besar sudut belokan memberikan hasil bahwa semakin besar nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) yang akan terjadi [5]. Kemudian, simulasi penurunan tekanan pada instalasi pipa alat uji rugi-rugi aliran menggunakan CFD FLUENT 6.0 telah dilakukan [9]. Penurunan tekanan dipengaruhi oleh jarak, waktu, kecepatan aliran dan tingkat turbulensi serta viskositas kinematik fluida. Nilai *pressure drop*

yang dihitung menggunakan simulasi lebih mendekati dengan hasil pengujian yang dilakukan dengan aktual. Nilai aktual 52,432,488 Pa dan secara simulasi nilainya 55,652.832 Pa.

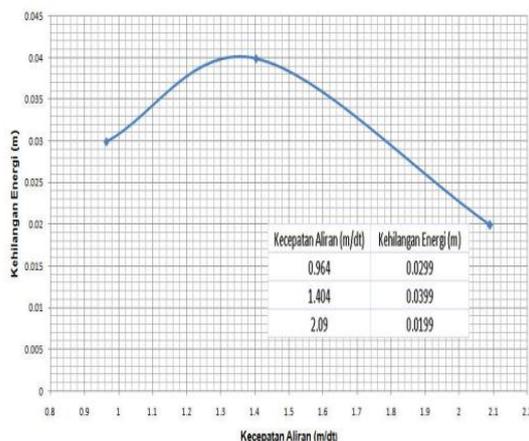
Penelitian tentang simulasi *pressure drop* pada sistem perpipaan menggunakan *Pipe Flow Expert* telah dilakukan [11]. Terjadinya *pressure drop* pada instalasi pipa disebabkan oleh panjang pipa dan arah aliran fluida. dan hasil simulasi juga menghasilkan adanya penambahan tekanan yang dipengaruhi oleh faktor gravitasi.

Pendistribusian dan hilangnya suatu energi aliran fluida pada pipa, tidak dapat diamati secara langsung. Untuk itu dilakukan pengujian rugi-rugi aliran pada alat uji rugi-rugi aliran [12]. Pada percobaan alat praktikum rugi-rugi aliran dalam pipa [10] dimana pecobaan dilakukan dengan 4 kondisi bukaan yaitu 4/4, 3/4, 2/4, dan 1/2 bukaan *glove valve* pada pipa dengan diameter yang berbeda dihasilkan semakin kecil diameter pipa mengakibatkan semakin besar laju/kecepatan aliran. Sementara itu, laju atau kecepatan aliran semakin kecil pada saat bukaan katup yang semakin kecil pula. Hal ini mengakibatkan nilai rugi-rugi gesekan semakin besar. Nilai rugi – rugi gesekan ditampilkan pada Tabel 2 sbb:

Tabel 2. Hubungan laju aliran dan rugi gesek pada tiap-tiap bukaan *Glove Valve* [10]

Diameter pipa (Inch)	Bukaan <i>Glove Valve</i>				
	4/4	3/4	2/4	1/4	
5/8"	laju aliran (q)	3,477051	3,448276	3,342246	2,417795
	Rugi gesek (f)	5,77732	12,6808	20,03	104,565
1/2"	laju aliran (q)	1,774308	1,758087	1,731302	1,48368
	Rugi gesek (f)	9,59521	16,3384	16,1201	150,246
3/4"	laju aliran (q)	1,79211	1,77936	1,76056	1,52999
	Rugi gesek (f)	16,7787	16,7367	23,462	117,187

Penelitian lain menghasilkan bahwa setiap kecepatan aliran meningkat selalu diikuti dengan penurunan tekanan dan sebaliknya. Pada pipa rasio pengecilan 0,6 dengan debit 8 gpm dengan kecepatan $v_1 = 0,0683$ m/s dan tekanan 109 Kg/m^2 pada sumbu saluran setelah melewati dinding kontraksi tekanan berkurang menjadi -30 kg/m^2 pada kecepatan aliran $v_2 = 0,1896$ m/s. Peningkatan tekanan juga terjadi ketika mendekati belokan dengan sudut 90° karena terjadinya perlambatan aliran. Kenaikan tekanan juga dipengaruhi oleh debit aliran, pada debit 4 gpm dalam rasio pengecilan 0,667 aliran masuk dengan tekanan 85 Kg/m^2 ketika debit dinaikkan hingga 8 gpm tekanan juga akan naik menjadi 133 Kg/m^2 . Penurunan tekanan (*pressure drop*) dipengaruhi oleh adanya gesekan, gravitasi, belokan, dan penambahan tekanan [23]. Adapun metode pendekatan model fisik skala laboratorium dalam penelitian lainnya menggunakan alat penelitian *Pipe Friction Apparatus* yang dilengkapi dengan *Hydraulic Bench*. membuktikan besaran nilai kehilangan energi dalam pipa (h_f) sangat dipengaruhi oleh koefisien gesek (f), diameter pipa (D), panjang pipa (L), serta kecepatan aliran (v). Koefisien gesek yang semakin kecil memiliki kecenderungan bilangan Reynold-nya semakin meningkat [24].



Gambar 4. Grafik hubungan antara kecepatan aliran pada pipa dengan diameter 0.06 m terhadap kehilangan energi[24]

Penelitian tentang Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di belokan 90° telah dilakukan [6], terdapat hubungan antara *flow pattern* dengan *pressure drop*. Semakin besar proporsi volumetrik udara (β) maka bilangan Reynolds air (Re_{SL}) semakin menurun sehingga memberikan udara untuk mengisi ruang belokan

90° yang menyebabkan *pressure drop* akan menurun [6]. Telah dilakukan penelitian, pemasangan *Tube Bundle* dapat mengurangi rugi-rugi aliran pipa pada sambungan/belokan pipa (*elbow*). Pemasangan *Tube Bundle* dapat menurunkan kerugian tekanan sebesar 32,5% dari kerugian belokan tanpa pemasangan *tube bundle*. Hal ini disebabkan karena semakin jauh peletakan *tube bundle* maka kesempatan terbentuknya separasi semakin lama sehingga kerugian tekanannya juga semakin besar sebaliknya jika *tube bundle* dipasang semakin dekat dengan sambungan pipa maka kerugian yang terjadi semakin kecil [20].

4. KESIMPULAN

1. Rugi-rugi aliran pasti terjadi pada instalasi pipa dan telah dibuktikan dengan simulasi penurunan tekanan menggunakan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)*, *Flow Simulation Solidworks*, *Computational Fluid Dynamics* paket program FLUENT 6.0, dan *software Ansys Workbench* 19.0 hasilnya terjadi penurunan tekanan pada instalasi pipa.
2. Faktor penyebab adanya penurunan tekanan pada instalasi pipa disebabkan karena panjang pipa, perubahan geometri dan lintasan fluida, *friction factor* yang mempengaruhi perhitungan *major losses*, penggunaan jenis pipa/banyaknya pipa, penggunaan sambungan pipa (*elbow*), laju aliran, diameter pipa dan komponen lain yang dipasang pada instalasi pipa.

UCAPAN TERIMA KASH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada yayasan Menara Bhakti yang telah membiayai penelitian ini melalui program MBKM internal Universitas Mercubuana tahun anggaran 2021/2022. Mohon maaf bila jurnal hasil penelitian ini belum sempurna meski penulis telah berusaha semaksimal mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Mahzan, M. Fitri, and M. Zaleha, "UV Radiation Effect Towards Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced Composite Material: A Review," *IOP Conf. Ser. Mater. Science Eng.*, vol. 165, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/165/1/012021.
- [2] M. Fitri, S. Mahzan, and F. Anggara, "The Mechanical Properties Requirement for Polymer Composite Automotive Parts - A Review," *Int. J. Adv. Technol. Mech.*

- Mechatronics Mater.*, vol. 1, no. 3, pp. 125–133, 2021, doi: 10.37869/ijatec.v1i3.38.
- [3] A. Supendi and M. Fitri, "Pemilihan Spesifikasi Komponen Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode Analisis Persamaan Bernoulli Jurnal Teknik Mesin : Vol . 11 , No . 1 , Februari 2022 ISSN 2549-2888," vol. 11, no. 1, 2022.
- [4] A. Basri and M. Fitri, "Perancangan Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode VDI 2221 ISSN 2549-2888 Jurnal Teknik Mesin : Vol . 10 , No . 3 , Oktober 2021 ISSN 2549-2888," vol. 10, no. 3, 2021..
- [5] B. Septian, "Simulasi Numerik Profil Aliran Dan Penurunan Tekanan Aliran Terhadap Sudut Belokan Pipa," 2019..
- [6] et al. Nugraha, "Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di Belokan 90 0," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 225–238, 2014.
- [7] Z. Pratama, "Desain Komponen Utama Alat Uji Konstanta Pegas Untuk Kapasitas 50 N/Mm," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 15, 2021, doi: 10.22441/jtm.v10i1.11108.
- [8] H. Pranoto, M. Fitri, and A. F. Sudarma, "Analisis Statik Pelat Penyambung pada Ladder Frame Chassis Untuk Kendaraan Pedesaan Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Rotasi*, vol. 23, no. 1, pp. 18–23, 2021.
- [9] Sepfitrah and Y. Rizal, "Analisa Pressure Drop Pada Instalasi Pipa Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Menggunakan CFD FLUENT 6.0," *J. APTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 45–56, 2013.
- [10] Y. Nefli and Hariadi, "Analisis Hasil Percobaan Alat Praktikum Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipa," *Anal. Has. Percobaan Alat Prakt. Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipa*, vol. 4, no. 1, pp. 180–187, 2021.
- [11] H. Radesha, B. Utama, H. Saputra, and L. Pordiman, "Analisa Pressure Drop Pada Sistem Perpipaan Bahan Bakar Mesin Induk KN . Masalembo Dengan Menggunakan Pipe Flow Expert," *Anal. Press. Drop Pada Sist. Perpipaan Bahan Bakar Mesin Induk KN . Masal. Dengan Menggunakan Pipe Flow Expert*, 2021.
- [12] D. Krisdwiyanto et al., "PENGUJIAN ALAT UJI RUGI-RUGI ALIRAN DALAM PIPAGALVANIS , PIPA PVC , PIPA STAINLESS STEEL DAN PIPA ACRYLIC," vol. 8, no. 2, pp. 35–45, 2017.
- [13] S. Akmal and N. Za, "Jurnal Teknologi Kimia Unimal Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)," vol. 2, no. November, pp. 53–72, 2019.
- [14] N. Hayati, A. Purwanto, and E. Muladi, "Pengaruh Diameter Knee pada Headloss Aliran Berbasis Monogram, CAD dan CAE," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 194–201, 2021, doi: 10.31289/jmemme.v5i2.5405.
- [15] A. Fahrudin and M. Mulyadi, "Rancang Bangun Alat Uji Head Losses Dengan Variasi Debit Dan Jarak Elbow 90O Untuk Sistem Perpipaan Yang Efisien," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 32–35, 2018, doi: 10.24127/trb.v7i1.680.
- [16] J. Bin Wu and L. Li, "Pipeline pressure loss in deep-sea hydraulic systems considering pressure-dependent viscosity change of hydraulic oil," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 10, 2021, doi: 10.3390/jmse9101142.
- [17] I. M. A. Sayoga and I. M. Nuarsa, "60228-ID-analisa-pengaruh-variiasi-sudut-sambungan," vol. 2, no. 2, pp. 75–83, 2012.
- [18] U. S. Dharma and G. Prasetyo, "Pengaruh Perubahan Laju Aliran Terhadap Tekanan Dan Jenis Aliran Yang Terjadi Pada Alat Uji Praktikum Mekanika Fluida," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, 2012, doi: 10.24127/trb.v1i2.653.
- [19] Muchsin, "KERUGIAN-KERUGIAN PADA PIPA LURUS," *Kerugian - kerugian pada pipa lurus*, vol. 4, pp. 368–392, 2013.
- [20] S. Wahyudi and Pratikto, "Penurunan Kerugian Head pada Belokan Pipa dengan Peletakan Tube Bundle," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 51–57, 2010, doi: 10.9744/jtm.12.1.51-57.
- [21] Hariyono, G. Rubiono, and H. Mujiyanto, "Study Eksperimental Perilaku Aliran Fluida Pada Sambungan Belokan Pipa," *V-Max*, vol. 1, no. 1, pp. 12–17, 2016.
- [22] I. E. Putra and A. Galsha, "Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC," pp. 34–39, 2017, doi: 10.21063/PIMIMD4.2017.34-39.1, no. 2, 2012, doi: 10.24127/trb.v1i2.653.
- [23] S. Sarjito, S. Subroto, and A. Kurniawan, "Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan Saluran Secara Mendadak Dengan Belokan Pada Penampang Segi Empat," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, pp. 8–22, 2017, doi: 10.23917/mesin.v17i1.3302.
- [24] I. Suprayogi, Bochari, Joleha, and Amril, "FENOMENA KEHILANGAN ENERGI PADA PIPA MENGGUNAKANPENDEKATANMODEL FISIKA SKALA LABORATORIUM," *Fenom. KEHILANGAN ENERGI PADA PIPA MENGGUNAKANPENDEKATANMODEL Fis. SKALA Lab.*, vol. 6, pp. 159–164, 2014