

## Tinjauan Penelitian Tentang Rancang Bangun Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Pada Instalasi Pipa

Rifky Dwi Ardian<sup>1</sup>, Hendrikus Wermasaubun<sup>1</sup>, Muhamad Fitri<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: wirifky@gmail.com

**Abstrak--** Pipa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan fluida. Di dalam proses penggunaannya terdapat rugi-rugi aliran yang terjadi. Kerugian tersebut dapat diakibatkan oleh berbagai variasi desain yang berkaitan dengan ukuran dan jalur alirannya. Rugi-rugi yang terdapat pada aliran pipa dikenal dengan rugi mayor dan rugi minor. Rugi mayor terjadi karena terdapat gesekan aliran fluida dengan dinding pipa, sedangkan rugi minor terjadi karena adanya belokan ataupun percabangan aliran. Bukan hanya pada desain aliran saja, Kerugian yang telah disebutkan diatas tentunya mempengaruhi kinerja pompa sebagai pemasok aliran fluida. Apabila gesekan terlalu besar kemungkinan besar pompa tidak akan maksimal dalam menjalankan tugasnya. Permasalahan tersebut menyebabkan kasus rugi-rugi aliran dalam instalasi pipa terus dipelajari dan dilakukan pembaharuan. Dalam penelitian ini dilakukan peninjauan penelitian terdahulu mengenai rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran pada instalasi pipa. Dalam tinjauan ini metode, desain, dan aspek lainnya yang mempengaruhi rugi-rugi dalam aliran dipelajari dan disatukan menjadi rangkuman penelitian. Setelah dikumpulkan materi-materi tersebut kemudian dipelajari lebih lanjut sehingga didapatkan hasil yang berupa peluang pengembangan dan inovasi yang berkaitan dengan rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran dalam instalasi pipa. Pengembangan dan inovasi terbaru kemudian dituangkan dalam bentuk artikel ilmiah tinjauan tentang rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran pada instalasi pipa

**Kata kunci:** rugi mayor, rugi minor, pompa

**Abstract--** Pipe is a tool used to move fluids. In the process of using it there are flow losses that occur. These losses can be caused by various design variations related to the size and flow path. The losses in pipe flow are known as major losses and minor losses. Major losses occur because there is friction between the fluid flow and the pipe wall, while minor losses occur due to bends or branching of the flow. Not only on the flow design, the losses mentioned above certainly affect the performance of the pump as a supplier of fluid flow. If the friction is too large, it is likely that the pump will not be optimal in carrying out its duties. This problem causes flow losses in pipe installations to be studied and updated. In this study, a review of previous research regarding the design of flow loss test equipment was carried out in pipe installations. In this review the method, design, and other aspects affecting losses in flow are studied and incorporated into a research summary. After collecting these materials, they are studied further so that results are obtained in the form of development opportunities and innovations related to the design of flow loss test equipment in pipe installations. The latest developments and innovations are then written in the form of a review journal on the design of flow loss test equipment in pipe installations.

**Keywords:** major losses, minor losses, pump

### 1. PENDAHULUAN

Tinjauan penelitian sering dilakukan oleh para peneliti dunia dengan berbagai tujuan. Diantaranya adalah ditujukan untuk meninjau sejauh mana penelitian satu bidang tertentu telah dilakukan, sehingga peneliti lain yang ingin meneliti tentang hal tersebut tinggal melanjutkannya. Tujuan lain dari tinjauan penelitian adalah untuk mencari peluang inovasi

dari penelitian satu bidang tertentu [1], atau untuk menentukan hal yang dibutuhkan dalam penelitian tertentu [2].

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan (*equipment*) dari suatu tempat ke tempat yang lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Fluida yang dialirkan atau digerakkan dari suatu tempat ke tujuan yang

diinginkan dapat dilakukan dengan bantuan pompa maupun dengan memanfaatkan gravitasi bumi. Ada banyak variasi sistem perpipaan mulai dari sistem pipa tunggal sederhana hingga sistem percabangan yang sangat kompleks. Kerugian head dapat merugikan sistem aliran perpipaan, karena head loss menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida berupa penurunan tekanan (*pressure drop*). Demikian kompleksnya permasalahan pada instalasi pipa maka pembelajaran tentang aliran dalam pipa baik rugi-rugi yang terjadi maupun terkait pompanya sendiri perlu terus dilakukan dan diinovasi. Oleh karenanya banyak penelitian yang berkaitan dengan desain alat uji yang terkait dengan prestasi pompa [3][4].

Perancangan bisa dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode perancangan yang paling banyak digunakan adalah metode perancangan VDI2221 [5][4]. Metode ini merupakan metode perancangan dengan pendekatan yang sistematis baik terhadap desain produk maupun sistem teknik [5][4].

Rugi-rugi aliran (*Head Losses*) adalah kehilangan energi mekanik persatuan massa fluida. Satuan *head losses* adalah satuan panjang yang setara dengan satu satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. *Head losses* terbagi menjadi dua bagian yaitu rugi mayor (*major losses*) dan rugi minor (*minor losses*). Rugi mayor (*major losses*) adalah rugi aliran yang diakibatkan gesekan antara fluida dengan dinding pipa lurus yang mempunyai luas penampang yang tetap, rugi minor (*minor losses*) adalah rugi aliran fluida di dalam pipa yang disebabkan oleh luas penampang aliran, *entrance*, *fitting*, dan lain sebagainya [6].

Belokan pipa dapat menghilangkan energi yang cukup besar pada aliran, dikarenakan adanya belokan akan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi yang menciptakan aliran sekunder (*twin eddy*). *Tube bundle* diperlukan untuk meminimalisir gangguan aliran yang terjadi akibat belokan. Besarnya jarak peletakan *tube bundle* terhadap sisi keluaran pada belokan pipa mempengaruhi besarnya beda tekanan yang terjadi [7].

*Reducer* yaitu sambungan pipa yang mengalami pengurangan *cross sectional area* secara mendadak dengan membentuk pinggiran yang tajam. Tekanan akan besar karena fluida menabrak dinding tegak lurus aliran. Penggunaan dua buah komponen/*fitting* pada perpipaan akan memperbesar *head losses*. Akan tetapi, besarnya *head losses* kombinasi dipengaruhi oleh jarak pemasangan keduanya. Selain itu pemasangan *reducer* sebelum belokan

(*elbow*) akan membentuk aliran tumpul yang dipercepat yang kemungkinan dapat melawan gaya sentrifugal yang menyebabkan pusaran pada *elbow* [7].

Kehilangan energi pada aliran fluida dapat ditunjukkan dengan besarnya penurunan tekanan aliran (*pressure drop*). Besarnya *pressure drop* dapat diukur dengan selisih tekanan antara 2 titik pengukuran menggunakan manometer atau *pressure gauge* [7].

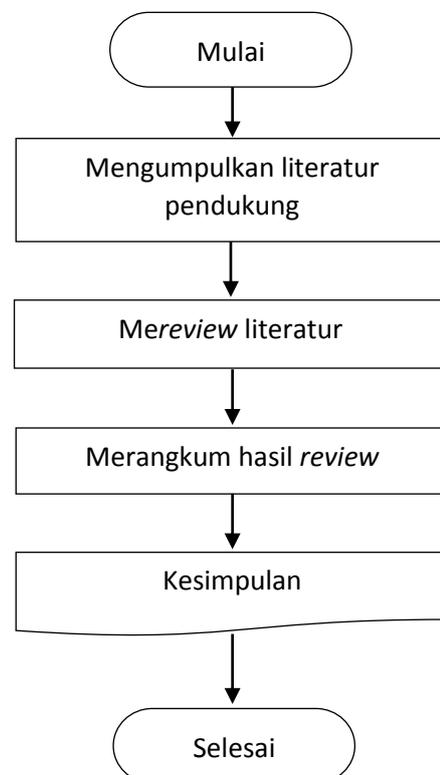
Dari tinjauan penelitian – penelitian diatas, kemudian Merekaptulasi tinjauan penelitian sebelumnya untuk mendapat *improvement* dan inovasi yang lebih baik. Kemudian dari tinjauan tersebut selanjutnya akan ditampilkan dalam bentuk jurnal tinjauan penelitian tentang rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran pada instalasi pipa.

## 2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan digambarkan dalam diagram alir beserta penjelasan singkatnya.

### 2.1. Diagram Alir

Adapun langkah-langkah yang ditempuh untuk penelitian ini digambarkan pada gambar 1.



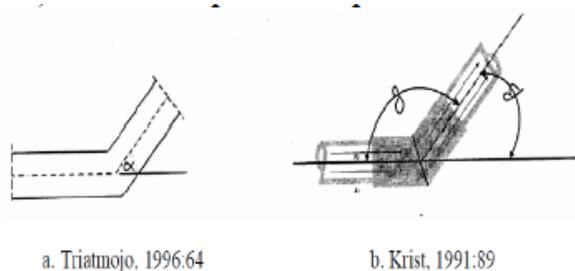
Gambar 1. Alur penelitian

**2.2. Penjelasan Diagram Alir**

- a. Menentukan topik  
Sebelum melakukan penelitian ditetapkan terlebih dahulu topik yang akan diangkat. Topik yang akan diangkat pada penelitian ini adalah tinjauan penelitian tentang rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran pada instalasi pipa.
- b. Mengumpulkan literatur pendukung  
Literatur didapat dari mengumpulkan jurnal internasional, nasional bereputasi maupun tidak serta didapat dari buku dengan tenggat penerbitan maksimal 20 tahun terakhir. Untuk jurnal dibatasi paling maksimal diterbitkan 10 tahun terakhir.
- c. 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 menopang proses rancang bangun alat uji rugi-rugi aliran pada instalasi pipa.
- d. 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.

**2. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari literatur yang telah dipelajari, kerugian pada aliran banyak terjadi pada belokan. Belokan yang telah diteliti pun beragam seperti belokan dengan sudut 30, 45, 60 dan 90 derajat. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kerugian yang didapat berbanding lurus dengan besar sudut yang digunakan sedangkan untuk kecepatan alirannya sendiri berbanding terbalik dengan kerugian yang dihasilkan [8][6].



**Gambar 2.** Pipa elbow 45°

Instalasi pipa harus memperhatikan kemungkinan kerugian terkecil agar kinerja pompa menjadi optimal. Desain instalasi pipa dengan gaya lurus hanya akan menyebabkan terjadinya rugi mayor (*major losses*) [9][10][11]. Sudut belokan dianggap berpengaruh dalam terjadinya rugi-rugi dalam aliran [6][8][12]. Pengaruh tersebut dapat dilihat pada tabel

dibawah ini.

**Tabel 1.** Data hasil perhitungan [8]

Sudut (x°)	Rugi mayor (Hf) (mm)	Rugi Minor (Hm) (mm)	Rugi Head (H) (mm)	Pressure drop (Δp) (N/m²)
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

Dari tabel tersebut dapat diamati bahwa semakin besar sudut belokan maka semakin besar *minor losses*, *head losses* dan *pressure drop* yang dihasilkan. Namun sebaliknya, semakin besar sudut yang digunakan semakin kecil *mayor losses* yang dihasilkan [8].

Pada dasarnya pipa adalah saluran tertutup untuk melajunya suatu fluida. Dalam alirannya menurut hukum Reynold terdapat 2 jenis tipe aliran di dalam pipa yaitu:

1. Aliran *laminar* atau bisa disebut juga aliran lancar (*steady*)
2. Aliran *turbulence* atau bisa disebut juga aliran bergejolak (berfluktuasi)

Diantara kedua jenis aliran diatas terdapat aliran transisi yang merupakan perpindahan dari aliran lancar (*laminar*) ke aliran bergejolak (*turbulence*) [8][13][11][14]. Perbedaan aliran ini dapat dilihat pada bilangan Reynold yang dimiliki. Untuk aliran *laminar* bilangan Re berkisar pada <2300, untuk aliran *turbulence* pada kisaran >4000. Adapun bilangan Re yang berada pada rentang 2300 < Re < 4000 merupakan jenis aliran transisi [8][10][15].

Pada penelitian lainnya, proses aliran fluida dalam pipa dihitung kecepatan aliran, debit dan laju aliran massa. Pipa berdiameter 0,75 inch dan 1 inch digunakan untuk mendapatkan data *pressure drop* dengan memanfaatkan hasil pengambilan data kecepatan aliran, debit dan laju aliran massa. Aliran air di dalam pipa menyebabkan penurunan tekanan pada sisi keluar pipa. Perbedaan tekanan air yang masuk pipa dan keluar pipa disebabkan oleh hambatan aliran, misalnya kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan air dengan permukaan pipa, panjang pipa, diameter pipa dan kecepatan aliran [16].

Terdapat suatu percobaan untuk menutup sebagian lajur aliran fluida menggunakan metode buka katup ¼, ½, ¾, dan penuh yang kemudian dibandingkan dengan bilangan Reynold [13]. Hasil dari percobaan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

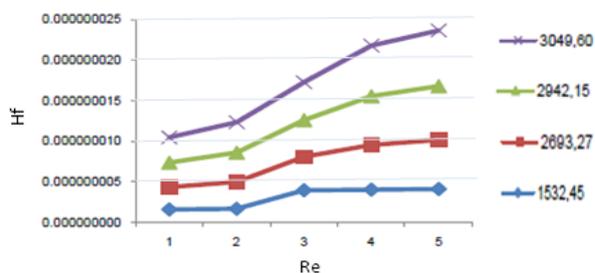
**Tabel 2.** Perhitungan Bilangan Reynold [13] (pengujian dengan beberapa titik pantau).

Bukaan katup	Re	Tekanan (kg/mm <sup>2</sup> )		
		1	2	3
¼	1532,45	45,78	31,72	20,60
½	2693,27	302,48	237,08	153,69
¾	2942,15	562,44	500,31	366,24
Penuh	3049,60	592,52	493,77	389,13

Bila dibandingkan dengan penurunan tekanan, hasil yang didapatkan adalah semakin besar bilangan Re nya maka tekanan yang dihasilkan akan semakin besar [13][14][17][10]. Dalam pengujian, faktor gesekan juga mempengaruhi tekanan yang dihasilkan. Untuk memperkecil faktor gesekan dapat dilakukan dengan menambah atau memperbesar bilangan Re [13] [17][10].

Pada penelitian serupa dengan perlakuan sama yaitu posisi buka katup, menunjukkan hasil bahwa semakin kecil bukaan katup akan mengakibatkan menurunnya laju aliran fluida [11][18]. Hal tersebut akan berakibat pada meningkatnya rugi-rugi aliran yang akan ditanggung. Pada penelitian ini juga ditetapkan bahwa besar kecepatan aliran berbanding lurus dengan besar bilangan Re [11][19][20].

Faktor penyebab turunnya tekanan pada aliran fluida lainnya adalah adanya faktor gesekan antara fluida dengan dinding pipa. Salah satu penelitian menampilkan hasil percobaan dengan membandingkan pengaruh faktor gesek dengan penampang pipa. Penampang pipa yang digunakan terdiri dari 3 bentuk yaitu lingkaran, segitiga dan segiempat. Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan bahwa faktor gesek paling besar terjadi pada penampang berbentuk lingkaran [10].

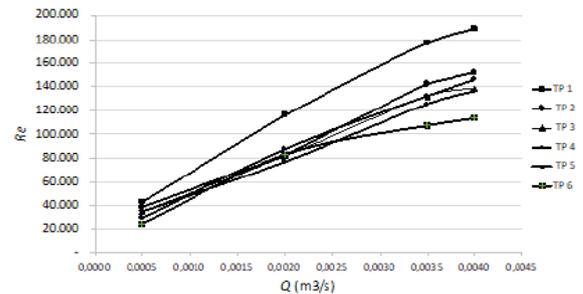


**Gambar 3.** Re banding kerugian head [13]

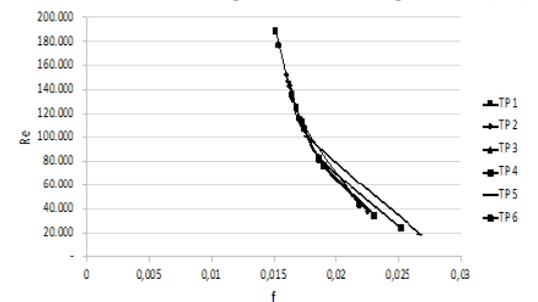
Metode yang diterapkan untuk ukuran pipa dan perhitungan komponen head loss dalam studi kasus dapat berguna untuk sistem distribusi air dalam menentukan kecukupan elevasi waduk, mengingat juga bahwa elevasi tinggi yang tidak diperlukan akan membutuhkan biaya yang lebih tinggi karena biaya konstruksi pendukung yang lebih tinggi, struktur dan membutuhkan

kemampuan yang lebih tinggi dari pompa angkat [21].

Bilangan Reynold adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan jenis aliran. Hal ini dipengaruhi oleh aliran kecepatan (v), diameter pipa (d), dan viskositas kinematik (ν). Hubungan laju alir (Q) dengan Bilangan Reynold (Re) bisa dilihat pada gambar 4 dan hubungan antara Re dan f dapat dilihat pada gambar 5. Gesekan koefisien (f) dipengaruhi oleh bilangan Reynold (Re). Semakin besar bilangan Reynold (Re), maka lebih kecil dari nilai f [22].

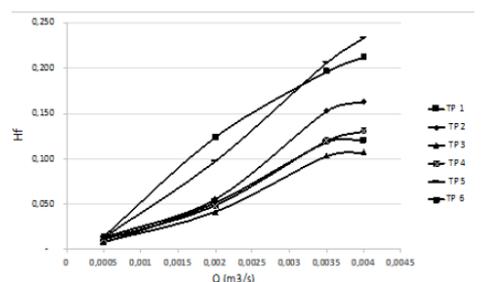


**Gambar 4.** Hubungan debit dengan Re [22]

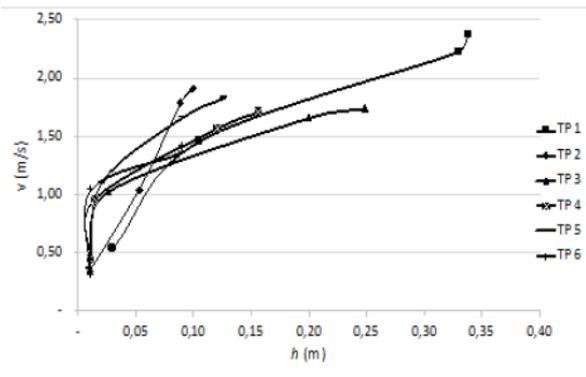


**Gambar 5.** Hubungan koefisien gesekan dengan bilangan Reynold [22]

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara debit/laju (Q) dan bilangan Reynold (Re). Sebagai Hasilnya, jenis aliran untuk masing-masing rate (Q) dan titik ukur (TP) menunjukkan aliran turbulen yaitu  $Re > 4000$ . Semakin banyak rate (Q), semakin besar bilangan Reynold. Re terbesar ada di TP1. semakin besar laju (Q), semakin besar kecepatan (v) dan bilangan Reynold (Re) [8]. Kemudian hubungan antara tingkat dengan head loss dan tinggi tekanan dengan kecepatan dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 6.** Hubungan debit/laju dengan koefisien gesek [22]



**Gambar 7.** Hubungan tinggi tekanan dan laju aliran [22]

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara rate ( $Q$ ) dan  $head\ loss$  ( $h_f$ ). Semakin tinggi laju aliran ( $Q$ ) yang diikuti dengan peningkatan kecepatan, semakin besar kerugian  $head$ .  $Head\ loss$  terbesar ada di  $flow$  pada pipa bengkok, hal ini disebabkan meningkatnya turbulensi aliran.

Dalam penelitian lain menyatakan bahwa sudut tikungan menyebabkan perubahan  $head\ loss$ , semakin besar sudut tikungan, semakin besar kerugian  $head$  [8].  $Head\ loss$  terbesar adalah pada tikungan  $90^0$ . Gambar 4 di atas menunjukkan hubungan tinggi tekanan ( $h$ ) dengan laju aliran ( $v$ ). Tekanan tinggi ( $h$ ) aliran berkurang sepanjang pipa. Dalam penelitian lain menyatakan bahwa peningkatan tekanan dipengaruhi dengan peningkatan laju aliran ( $Q$ ), peningkatan tekanan terjadi ketika melewati tikungan  $90^0$  karena aliran pelan - pelan [22].

**Tabel 3.** Penelitian lain penunjang terkait pengujian kerugian aliran pada instalasi pipa

No	Nama	Tahun	Kesimpulan
1	Priyo Ari Wibowo	2013	Pemasangan tube bundle ukuran 0,5 inchi yang di pasang setelah belokan $180^0$ memiliki nilai $head\ losses$ ( $hm$ ) yang paling rendah yaitu dengan nilai 5,727 m [23] Pengaruh penambahan tube bundle mampu menurunkan kecepatan fluida dan penurunan nilai head loss. Tekanan fluida dapat dipertahankan serta dampak dari belokan pipa dapat dikurangi. Nilai penurunan $head\ loss$ yang tinggi pada pemasangan tube bundle yang dekat dengan belokan pipa. semakin jauh $head\ loss$ yang terjadi menjadi besar. Tekanan fluida berbanding balik dengan kecepatan aliran [24]
2	Edi widodo dan Indah Sulistyowati	2016	Aplikasi diagram Moody terbukti menjadi alat yang cukup tepat untuk perkiraan perkiraan faktor gesekan Darcy-Weisbach. Perkiraan yang baik antara nilai faktor gesekan yang diperoleh melalui pengukuran eksperimental dan diagram Moody diamati dengan deviasi absolut rata-rata 0,0136 [25]
3	Aline Amaral Madeira	2020	
4	Tabah Priangkoso dan Dwi Ermadi	2022	Tingkat ketelitian alat ukur mempengaruhi kesamaan hasil perhitungan dengan aktual yang ditunjukkan pada alat peraga [26]

Tabel diatas menyajikan penelitian lain yang telah dilakukan terkait rugi-rugi aliran pada instalasi pipa. Bukan hanya komponennya saja yang diperhitungkan, namun posisi penempatan komponen juga mempengaruhi rugi-rugi aliran pada instalasi pipa [23][24]. Selain komponen dan jaraknya, sebaiknya pemilihan alat ukur disesuaikan ketelitiannya dengan hasil rugi aliran yang ditimbulkan [26].

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

- a. Penggunaan komponen/*fitting* pada perpipaan akan memperbesar  $head\ loss$ , namun

besarnya  $head\ losses$  kombinasi dipengaruhi oleh jarak pemasangan keduanya. Elain itu pemasangan *reducer* sebelum belokan (*elbow*) akan membentuk aliran tumpul yang dipercepat yang kemungkinan dapat melawan gaya sentrifugal yang menyebabkan pusaran pada *elbow*. Sehingga penurunan tekanan aliran (*pressure drop*) yang terjadi akibat  $head\ losses$  dapat diminimalisir dengan perencanaan komponen/*fitting* dan penentuan posisi pemasangan *reducer*.

- b. Alat ukur yang digunakan sebaiknya menggunakan jenis digital agar hasil yang didapat akurat.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya ditujukan kepada yayasan Menara Bhakti yang telah

membayai penelitian ini melalui program MBKM internal Universitas Mercu Buana tahun anggaran 2021/2022. Mohon maaf apabila 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] A. Pratama and M. Fitri, "Rancang Bangun Alat Uji Konstanta Pegas Untuk Kapasitas 50 N/Mm Menggunakan Metode Vdi 2221," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 41, 2020, doi: 10.32832/ame.v6i2.3316.
- [6] I. Eka Putra, S. Sulaiman, and A. Galsha, "Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC," pp. 34–39, 2017, doi: 10.21063/pimimd4.2017.34-39.
- [7] 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.
- [8] Z. Zainudin, I. M. Adi Sayoga, and M. Nuarsa, "Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa," *Din. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 75–83, 2012, doi: 10.29303/d.v2i2.97.
- [9] 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.
- [10] J. Siregar and J. Sinaga, "Perancangan Alat Uji Gesekan Aliran Di Dalam Saluran," *J. Ilm. Tek. Mesin FEMA*, vol. 1, no. 1, p. 98787, 2013.
- [11] N. Yusuf and H. Hariadi, "Analisis Hasil Percobaan Alat Praktikum Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipa," *Rang Tek. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 180–187, 2021, doi: 10.31869/rjt.v4i1.2315.
- [12] S. Reza, A. H. M. F. Elahi, and M. R. Halder, "Design Construction and Testing of a Fluid Head Loss Measuring Apparatus," no. January, 2013.
- [13] Hariyono, G. Rubiono, and haris mujiyanto, "Study eksperimental perilaku aliran fluida pada sambungan belokan pipa," *v-max*, vol. 1, 2016.
- [14] D. Krisdwiyanto and A. M. Akim, "Pengujian Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipagalvanis, Pipa Pvc, Pipastainless Steel Dan Pipa Acrylic," *Zo. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 35–45, 2017.
- [15] 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.
- [16] N. F. Romadhon and L. Saraswati, "Rancang Bangun Alat Pengukur Laju Aliran Fluida ( Pipa Venturimeter )," no. 58.
- [17] 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.
- [18] D. Ermadi and Darmanto, "Perancangan Alat Praktikum Pengujian Headloss Aliran Fluida Tak Termampatkan," *J. Ilm. Cendekia Eksakta*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2017.
- [19] S. Hashemi, Y. Filion, V. Speight, and A. Long, "Effect of Pipe Size and Location on Water-Main Head Loss in Water Distribution Systems," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 146, no. 6, 2020, doi: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001222.
- [20] Muchsin, "Kerugian - Kerugian Pada Pipa Lurus," *Fak. Tek. Univ. Tadulako*, p. 7, 2013.
- [21] J. I. Sodiki and E. M. Adigio, "The Head Loss Ratio in Water Distribution: Case Study of a 448- Bed Student Hostel,"

- Online*), vol. 5, no. 5, pp. 2222–1727, 2014.
- [22] R. Bachrun, M. S. Pallu, M. A. Thaha, and B. Bakri, “The effect of discharge on head loss with straight and bend flow directions in the pipeline,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 841, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/841/1/012017.
- [23] P. A. Wibowo, “Analisis penurunan head losses pada belokan pipa 180,” 2013.
- [24] E. Widodo, “Rekayasa Performansi Pompa Sentrifugal Untuk Menurunkan Head Loss,” *Lap. Akhir Penelit. Dosen Pemula Rekayasa*, no. November, p. 3, 2016.
- [25] A. A. Madeira, “Major and minor head losses in a hydraulic flow circuit: Experimental measurements and a Moody’s diagram application,” *Eclet. Quim.*, vol. 45, no. 3, pp. 47–56, 2020, doi: 10.26850/1678-4618eqj.v45.3.2020.p47-56.
- [26] T. Priangkoso and D. Ermadi, “perancangan alat praktikum uji kerugian tekanan aliran air dalam pipa,” *Momentum*, vol. 18, no. 1, pp. 9–25, 2022.