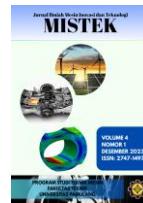




JURNAL TEKNIK MESIN

MISTEK

MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS PENGARUH DIMENSI *ELBOW* $\frac{1}{2}$ INCI DAN $\frac{3}{4}$ INCI TERHADAP POLA ALIRAN PADA INSTALASI PEMADAM KEBAKARAN

Ali Mansur¹, Joko Setiyono²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : alimotoranggrek@gmail.com¹

Masuk : 09 Oktober 2023

Direvisi : 30 Oktober 2023

Disetujui : 20 November 2023

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak perbedaan ukuran *elbow* terhadap karakteristik aliran fluida (air) pada instalasi pemadam kebakaran, dengan menggunakan pipa galvanis berdiameter $\frac{1}{2}$ " dan $\frac{3}{4}$ ". Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan diameter *elbow* menimbulkan variasi tingkat turbulensi yang berdampak pada besarnya kehilangan energi aliran (*head loss*). Kapasitas aliran juga menyebabkan perubahan tekanan dan jenis aliran yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, karakteristik aliran yang terbentuk berkisar antara aliran laminar dan turbulen. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa pipa dengan diameter lebih kecil menghasilkan kecepatan aliran tertinggi, yaitu $\frac{1}{2}$ ", dengan kecepatan 3,98 m/s dan debit 0,00125 m³/det. Sementara pada pipa berdiameter $\frac{3}{4}$ ", kecepatan aliran tercatat sebesar 0,69 m/s dengan debit yang sama, yaitu 0,00125 m³/det. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara diameter pipa dan kecepatan aliran.

Kata Kunci: *Elbow*, Tekanan, Kecepatan Aliran, Jenis Aliran, Bilangan Reynolds.

Abstract: The purpose of this study is to determine the impact of different elbow sizes on the flow characteristics of water in a fire protection piping system, using galvanized pipes with diameters of $\frac{1}{2}$ " and $\frac{3}{4}$ ". The results show that variations in elbow diameter cause differences in turbulence levels, which affect the magnitude of energy loss (*head loss*) in the flow. Flow capacity also influences changes in pressure and flow type. Based on the analysis, the flow characteristics range from laminar to turbulent conditions. The calculation results indicate that the smaller pipe diameter produces the highest flow velocity, namely 3.98 m/s for the $\frac{1}{2}$ " pipe, with a discharge rate of 0.00125 m³/s. Meanwhile, the $\frac{3}{4}$ " pipe records a flow velocity of 0.69 m/s with the same discharge rate. This finding demonstrates an inverse relationship between pipe diameter and flow velocity.

Keywords: *Elbow*, Pressure, Flow Velocity, Flow Type, Reynolds Number.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat menuntut peningkatan sistem keselamatan pada bangunan bertingkat, terutama terhadap risiko kebakaran yang dapat menimbulkan kerugian besar, baik harta maupun jiwa [1]. Oleh karena itu, perencanaan sistem pemadam kebakaran yang andal menjadi bagian penting dari desain bangunan modern [2].

Universitas Pamulang, yang kini berkembang pesat dan menempati peringkat 50 besar universitas di Indonesia, tengah membangun kompleks kampus baru Universitas Sutomo di Kota Serang, Banten. Proyek ini mencakup 12 tower masing-masing 10 lantai di atas lahan seluas 130 hektar. Dengan skala sebesar itu, aspek keamanan terhadap bahaya kebakaran harus dirancang secara matang, termasuk sistem instalasi hidran dan sprinkler.

Dalam sistem pemadam kebakaran, *elbow* atau keni berfungsi sebagai pengubah arah aliran pada jaringan pipa air bertekanan. Namun, komponen ini dapat menyebabkan hambatan dan perubahan tekanan akibat kehilangan energi (*head loss*) [3], [4]. Fenomena ini dijelaskan melalui prinsip Bernoulli, di mana peningkatan kecepatan aliran akan menurunkan tekanan, serta melalui konsep kontinuitas yang menyatakan bahwa debit fluida di sepanjang pipa harus tetap konstan. Perubahan diameter pipa atau bentuk *elbow* secara langsung memengaruhi kecepatan dan tekanan air di sistem [5].

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh dimensi *elbow* terhadap pola aliran, kecepatan, dan tekanan air pada instalasi pemadam kebakaran. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan sistem pemadam yang lebih efisien dan sesuai standar keamanan bangunan.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi dan eksperimen untuk menganalisis pengaruh dimensi *elbow* terhadap karakteristik aliran fluida pada sistem pemadam kebakaran. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan analisis kuantitatif terhadap perubahan tekanan, kecepatan, dan pola aliran tanpa harus melakukan uji fisik dalam skala besar. Metode simulasi juga mempermudah visualisasi distribusi tekanan dan kecepatan fluida pada berbagai variasi dimensi *elbow*, sedangkan uji eksperimental memberikan pembanding terhadap hasil simulasi yang dilakukan. Dengan kombinasi keduanya, hasil penelitian diharapkan lebih akurat dan aplikatif terhadap desain sistem *hydrant* nyata.

Metode Simulasi

Langkah-langkah penelitian meliputi:

1. Studi pustaka mengenai kapasitas pompa *hydrant*, tekanan, dan kecepatan aliran fluida pada pipa *elbow* dengan dukungan perangkat lunak simulasi.
2. Pengukuran karakteristik pompa yang digunakan sebagai sumber suplai air pada instalasi *prototype hydrant*.
3. Pengumpulan data dimensi *elbow pipe* galvanis yang digunakan untuk aliran fluida.
4. Pembuatan sketsa *prototype hydrant* dalam bentuk 3D menggunakan AutoCAD.
5. Pemodelan komponen *elbow* galvanis 3D menggunakan SolidWorks.
6. Simulasi aliran fluida untuk memperoleh nilai tekanan (*pressure*) dan kecepatan (*velocity*) pada *elbow*.
7. Analisis hasil simulasi untuk mengevaluasi pengaruh variasi dimensi terhadap pola aliran.

Metode Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui pengujian eksperimental dan simulasi numerik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua variasi pompa yang dirancang untuk mensuplai instalasi *prototype hydrant*. Perangkat lunak SolidWorks Flow Simulation digunakan untuk memvisualisasikan dan mengukur distribusi tekanan serta kecepatan aliran pada setiap variasi *elbow*.

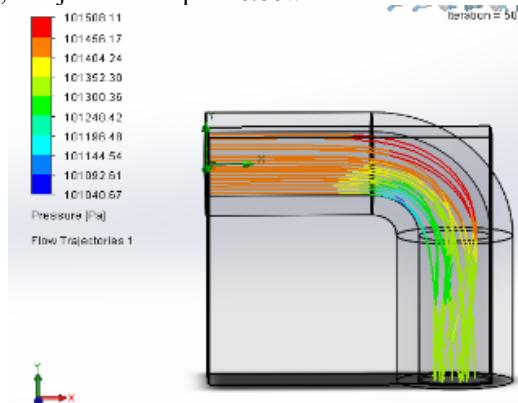
Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dan simulasi diolah menggunakan metode perbandingan antara dua dimensi *elbow* (½" dan ¾"). Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai tekanan, kecepatan aliran, serta indikasi kehilangan energi (*head loss*) yang terjadi. Hasil perhitungan dan simulasi kemudian dijadikan dasar untuk menarik kesimpulan mengenai karakteristik aliran fluida. Tahap akhir penelitian berupa penarikan kesimpulan dan pemberian saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi

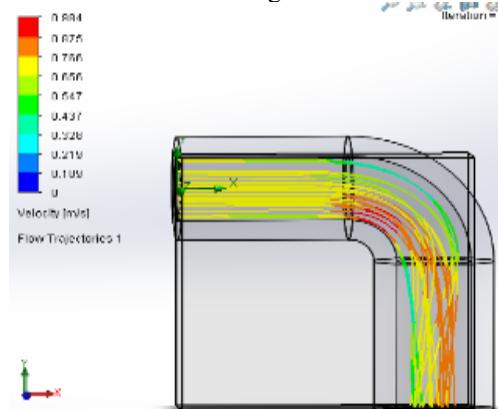
Simulasi dilakukan menggunakan SolidWorks Flow Simulation untuk mengetahui distribusi tekanan (*pressure drop*), kecepatan aliran, dan jenis aliran pada *elbow* berdiameter ½" dan ¾".



Gambar 1. Penurunan Tekanan pada Pipa Elbow ½ Inci

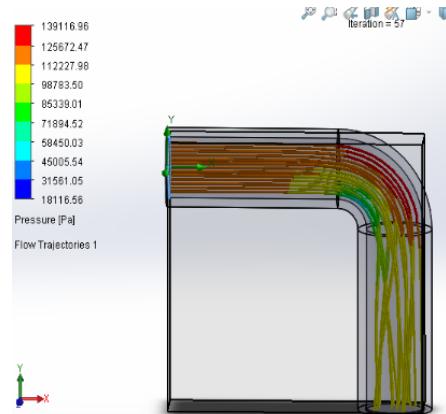
Pada *elbow* berdiameter ½ inci, tekanan fluida pada sisi masuk tercatat antara 101456,17 Pa hingga 101404,24 Pa. Ketika fluida melewati tikungan dengan sudut 15°, tekanan menurun hingga 101300,36 Pa sampai 101144,54 Pa pada sisi dalam *elbow*, sedangkan sisi luar mengalami peningkatan tekanan hingga 101508,11 Pa. Setelah melewati

elbow, tekanan kembali mendekati kondisi awal. Berdasarkan nilai Reynolds, aliran yang terbentuk termasuk kategori turbulen, dengan turbulensi terkonsentrasi di sisi dalam tikungan.



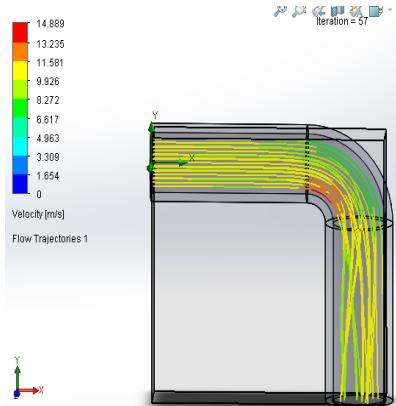
Gambar 2. Kecepatan Aliran pada *Elbow* $\frac{1}{2}$ Inci

Hasil simulasi kecepatan (*velocity*) pada *elbow* $\frac{1}{2}$ inci menunjukkan kecepatan masuk antara 0,766 m/s hingga 0,656 m/s. Saat fluida melalui tikungan, kecepatan menurun menjadi 0,547 m/s hingga 0,328 m/s pada sisi luar *elbow*, sedangkan sisi dalam menunjukkan peningkatan hingga 0,984 m/s. Setelah melewati *elbow*, kecepatan kembali stabil mendekati kondisi awal.



Gambar 3. Penurunan Tekanan pada Pipa *Elbow* $\frac{3}{4}$ Inci

Pada *elbow* berdiameter $\frac{3}{4}$ inci, pola distribusi tekanan menunjukkan karakteristik serupa. Tekanan fluida pada sisi masuk berkisar antara 101456,17 Pa hingga 101404,24 Pa, kemudian menurun hingga 101144,54 Pa di sisi dalam *elbow*, dan meningkat di sisi luar hingga 101508,11 Pa. Jenis aliran yang terbentuk juga turbulen, dengan pusat turbulensi di area tikungan bagian dalam.



Gambar 4. Kecepatan Aliran pada *Elbow* $\frac{3}{4}$ Inci

Kecepatan aliran pada *elbow* ¾ inci tercatat antara 11,581 m/s hingga 9,926 m/s pada sisi masuk. Saat melalui tikungan, kecepatan berkurang hingga 6,617 m/s pada sisi luar *elbow*, dan meningkat hingga 14,889 m/s pada sisi dalam. Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar diameter *elbow*, maka kecepatan dan energi kinetik fluida meningkat seiring dengan besarnya debit yang mengalir.

Hasil Analisis Sistematis dan Simulasi

Perbandingan antara hasil perhitungan sistematis dan hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kekuatan Statis, Tegangan, dan Regangan

Ukuran <i>Elbow</i>	Debit Air (m³/s)	Kecepatan Sistematis (m/s)	Kecepatan Simulasi (m/s)	Selisih (m/s)	Akurasi (%)
½”		0,69	0,76	0,07	93
¾”	0,00125	3,98	4,96	0,98	90

Hasil di atas menunjukkan bahwa nilai kecepatan hasil simulasi memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi terhadap hasil perhitungan sistematis, dengan selisih kecepatan relatif kecil, yaitu 7–10%.

Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi, terlihat bahwa variasi dimensi *elbow* berpengaruh signifikan terhadap perubahan kecepatan dan tekanan aliran. Pada *elbow* berdiameter lebih kecil (½”), kecepatan aliran relatif lebih rendah dibandingkan dengan *elbow* ¾”, meskipun debit yang digunakan sama. Hal ini sejalan dengan prinsip kontinuitas, di mana perubahan luas penampang memengaruhi kecepatan aliran fluida.

Jenis aliran yang terbentuk pada kedua variasi *elbow* termasuk turbulen, ditunjukkan oleh distribusi kecepatan yang tidak seragam di sepanjang tikungan dan fluktuasi tekanan di sisi dalam *elbow*. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Muhammad Al Haramain (2017), yang menunjukkan bahwa pipa berdiameter lebih besar menghasilkan aliran turbulen dengan kecepatan lebih tinggi dibandingkan pipa berdiameter kecil.

Perbedaan kecil antara hasil simulasi dan perhitungan teoritis dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti asumsi koefisien gesek yang belum sepenuhnya akurat, ketelitian dalam pengukuran debit, atau penentuan *boundary condition* pada simulasi yang belum optimal. Namun secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi menggunakan SolidWorks Flow Simulation cukup representatif untuk menggambarkan karakteristik aliran fluida pada sistem pemadam kebakaran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas aliran berpengaruh langsung terhadap tekanan dan kecepatan fluida. Semakin besar kapasitas aliran, maka tekanan yang dihasilkan juga meningkat. Seluruh kondisi aliran pada *elbow* ½” dan ¾” termasuk kategori turbulen karena kecepatan fluida yang tinggi. Pada debit yang sama (0,00125 m³/s), *elbow* berdiameter kecil (½”) menghasilkan kecepatan lebih besar (0,69 m/s) dibanding *elbow* berdiameter besar (¾”, 3,98 m/s). Hal ini sesuai dengan prinsip fluida bahwa semakin besar luas penampang, kecepatan aliran akan menurun.

Penelitian berikutnya disarankan melakukan uji langsung pada sistem nyata serta meninjau pengaruh sudut tikungan dan material *elbow* untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. Nugroho, Y. Latief, B. Mulyono, and A. A. F. N. Zaman, “Penggunaan BIM untuk Meningkatkan Keselamatan Kebakaran pada Bangunan Gedung Tinggi,” *J. Komposit J. Ilmu-ilmu Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 29–39, Mar. 2022, doi: 10.32832/komposit.v6i1.6738.
- [2] C. Maluk, M. Woodrow, and J. L. Torero, “The potential of integrating fire safety in modern building design,” *Fire Saf. J.*, vol. 88, pp. 104–112, 2017, doi: 10.1016/j.firesaf.2016.12.006.
- [3] B. Zardin, G. Cillo, M. Borghi, A. D’ Adamo, and S. Fontanesi, “Pressure Losses in Multiple-Elbow Paths and in V-Bends of Hydraulic Manifolds,” *Energies*, vol. 10, no. 6. pp. 1–21, 2017. doi: 10.3390/en10060788.
- [4] S. K. Silalahi, A. Mufarrih, and I. Setyowidodo, “Analysis Of Head Losses Consequent Section Diameter, Pipe Material and Flow Debit Using Contrast Test (Scheffe’s Method) at 900 Elbow Joint,” *IPTEK J. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 9–14, 2017, doi: 10.12962%2Fj23378557.v3i3.a3081.
- [5] W. A. Altowayti *et al.*, “Evaluating the Pressure and Loss Behavior in Water Pipes Using Smart Mathematical Modelling,” *Water*, vol. 13, no. 24. pp. 1–20, 2021. doi: 10.3390/w13243500.