

Karakteristik tekanan aliran yang melewati belokan pipa vertikal pada arah radial dan tangensial

Safaruddin^{1*}, Mahmuddin², Arjal Tando³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

Email: *safar.aviation@yahoo.com

ABSTRAK

Pipa merupakan saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tekanan pada belokan pipa. Model pipa yang diteliti adalah pipa transparan dengan diameter pipa 3,81 cm jari-jari belokan 50 cm. Pengukuran tekanan dilakukan pada jarak radial 20°, 30°, 55°, 80°, 90°, 100°, 125°, 150°, 160°. tiap-tiap titik, dengan tiap-tiap titik memiliki sudut sebagai berikut : Titik A (20°), titik B (30°), titik C (55°), titik D (80°), titik E (90°), titik F (100°), titik G (125°), titik H (150°), titik I (160°). Kurva penurunan tekanan pada belokan pipa dapat diketahui dengan memvariasikan debit aliran sebesar $6,54 \cdot 10^{-4}$ sampai $9,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan akan semakin kecil pada jarak pengukuran radial semakin besar. Sedangkan hasil pengukuran tekanan secara tangensial akan turun hingga maksimum dan kemudian meningkat setelah daerah separasi aliran. Besarnya distribusi tekanan (*pressure distribution*) pada belokan pipa tegak secara tangensial sangat besar dimana tekanan terbesar terjadi pada sudut belokan 20° dan berangsur-angsur mengalami penurunan dari sudut 30° sampai 160°. Besarnya tekanan aliran pada arah radial sepanjang belokan kecenderungan turun dengan meningkatnya debit aliran. Tekanan pada arah tangensial dengan setiap titik radial belokan pipa kecenderungan turun sampai titik tangensial 180° kemudian meningkat sampai titik tangensial 270°.

Kata kunci: belokan pipa, arah radial dan tangensial, debit aliran, tekanan.

ABSTRACT

The pipe is a closed channel that is usually circular in cross-section and is used to flow fluid with a full flow section. This study aims to determine the magnitude of the pressure on the pipe bend. The pipe model studied is a transparent pipe with a pipe diameter of 3,81 cm and a turning radius of 50 cm. Pressure measurements were carried out at radial distances of 20°, 30°, 55°, 80°, 90°, 100°, 125°, 150°, and 160°. each point, with each point having the following angles: Point A (20°), point B (30°), point C (55°), point D (80°), point E (90°), point F (100°), point G (125°), point H (150°), the point I (160°). The pressure drop curve at pipe bends can be determined by varying the flow rate from $6,54 \cdot 10^{-4}$ to $9,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. The results show that the pressure will be smaller at the larger radial measurement distance. While the results of the tangential pressure measurement will decrease to a maximum and then increase after the flow separation area. The magnitude of the pressure distribution at the bend of the standpipe tangentially is very large where the greatest pressure occurs at a bend angle of 20° and gradually decreases from an angle of 30° to 160°. The magnitude of the flow pressure in the radial direction along the bend tends to decrease with an increasing flow rate. The pressure in the tangential direction with every radial point of the pipe bend tends to decrease to a tangential point of 180° and then increase to a tangential point of 270°.

Keywords: flow rate, pipe bends, pressure, radial and tangential directions.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan, dimana setiap makhluk hidup memiliki ketergantungan yang sangat tinggi terhadap air. Suatu wilayah tanpa ketersediaan air maka wilayah tersebut akan menjadi gersang dan melahirkan masalah yang besar bagi seluruh makhluk hidup tanpa terkecuali manusia pun akan mengalaminya. Di masa modern ini berbagai upaya dilakukan untuk memperoleh air, baik dialirkan dengan irigasi yang bersumber dari sungai, pembuatan sumur, dan penyediaan sistem perpipaan untuk mengalirkan air ke pemukiman penduduk untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

Sistem perpipaan adalah merupakan media yang sangat membantu dalam mendistribusikan air ke berbagai tempat untuk berbagai jenis kebutuhan. Permasalahan yang sering dijumpai adalah terjadinya kerugian energi sepanjang aliran pipa maupun sambungan pipa. Hal ini tentunya sangat berkaitan dengan efisiensi energi dalam proses pendistribusian air.

Berbagai bentuk kerugian energi yang dijumpai pada aliran fluida di dalam pipa. Penyebab kerugian ini adalah gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup-katup, belokan pipa, dan percabangan pipa [1]. Dengan diketahuinya kerugian energi tersebut, maka peningkatan efisiensi energi dapat dilakukan.

Priyati, et al. [2], menyatakan bahwa penambahan *tube bundle* sebelum *elbow* menyebabkan penurunan kecepatan fluida dan *head losses* serta meningkatkan nilai tekanan fluida. Hal ini disebabkan karena penambahan *tube bundle* membuat aliran yang melewati belokan menjadi stabil. Hal serupa juga dinyatakan oleh Wahyudi [3] bahwa penambahan *tube bundle* pada belokan menurunkan *head losses*. Begitu juga penggunaan belokan menyebabkan penurunan tinggi tekanan fluida setelah melalui belokan [4]. Selain itu fluida yang melalui belokan juga akan mengalami turbulensi sehingga mengakibatkan penurunan tekanan dan kecepatan fluida [5].

Berbagai penelitian yang disampaikan di atas terkait kerugian-kerugian yang didapatkan ketika fluida melalui belokan. Maka kajian yang dilakukan adalah mengenai distribusi tekanan pada belokan pipa arah radial dan tangensial. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui distribusi tekanan (*pressure distrution*) aliran yang melewati belokan pipa tegak pada titik pengukuran posisi radial (9 titik pengukuran) dan posisi tangensial (4 titik pengukuran).

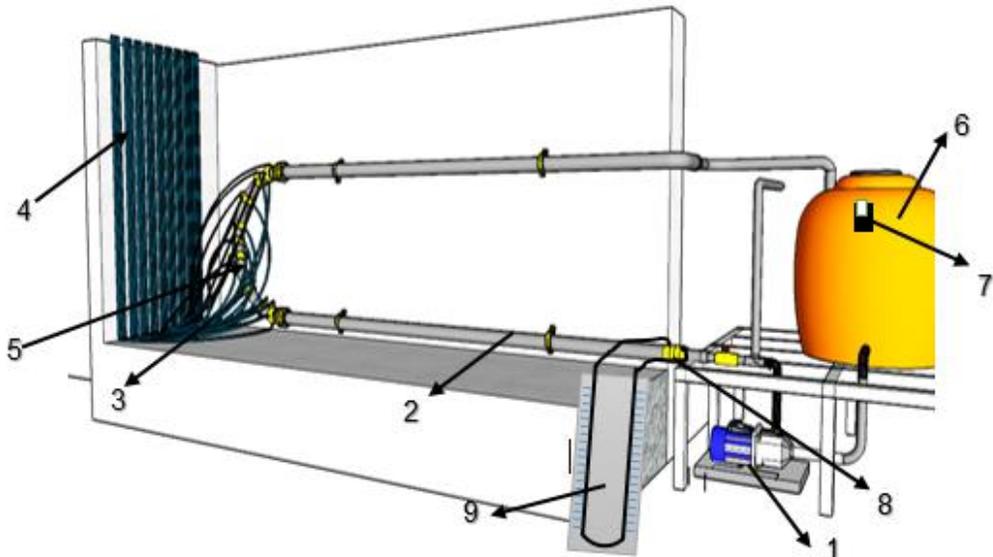
2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan seperangkat instalasi pengujian (Gambar 1). Belokan pipa U sebagai seksi uji, regulator digunakan untuk mengatur tegangan pompa, pompa air digunakan untuk sirkulasi aliran air, katup digunakan untuk mengatur aliran air, termometer digunakan untuk mengatur temperatur air, manometer untuk mengukur arah radial dan tangensial tekanan pada belokan pipa, orificemeter untuk mengukur debit aliran. Bahan yang digunakan adalah selang manometer, meja analog untuk dudukan instalasi pipa uji.

2.2 Prosedur Pengujian

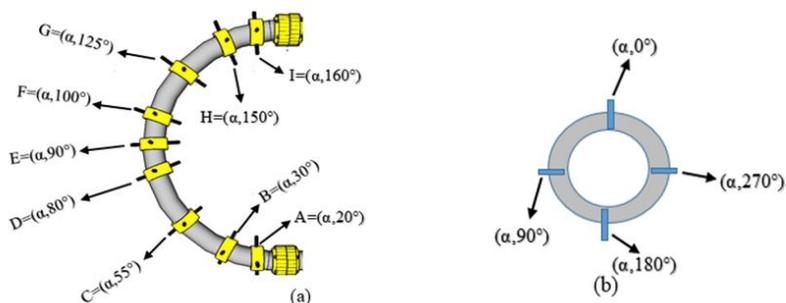
Semua peralatan dan alat ukur dipastikan telah terpasang dengan baik, mengisi bak penampung air, manometer dipasang pada seksi uji untuk mengukur tinggi air di dalam selang manometer, pompa air dinyalakan dimana regulator diatur pada tegangan 130 volt. Bila aliran sudah stabil, maka dilakukan pembacaan dan mencatat kenaikan tinggi cairan manometer, setelah melakukan pengujian pertama pada tegangan 130 volt dilanjutkan ke tegangan 150,8 volt, 171,6 volt, 192,4 volt dan 213,2 volt, temperatur air diukur, pompa dimatikan dan selesai.



Gambar 1. Sistem instalasi pengujian (posisi belokan vertikal)

Keterangan :

1. Pompa Air
2. Pipa Instalasi
3. Selang Manometer
4. Papan Manometer
5. Seksi Uji (Belokan Pipa)
6. Tangki Air
7. Selektor Thermometer
8. Orificemeter
9. Manometer U



Gambar 2. (a) Skema belokan pipa dan titik pengukuran tekanan arah radial dan (b) Titik pengukuran tekanan arah tangensial

2.3 Sifat-sifat Aliran

Reynolds mengemukakan bahwa ada tiga sifat aliran yang terjadi pada fluida di antaranya adalah aliran laminar ($Re < 2300$), aliran turbulen ($Re > 4000$), dan aliran transisi (berada di antara 2300 hingga 4000).

Bilangan Reynolds dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \tag{1}$$

Dengan :

- Re : bilangan Reynolds
- v : kecepatan aliran (m/s)
- D : diameter pipa (m)
- ν : viskositas kinematika (m^2/s)

2.4 Persamaan Bernoulli

Konsep dasar mengenai aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran akan mengakibatkan penurunan tekanan pada aliran fluida dimana berlaku hukum Bernoulli. Energi potensial aliran fluida pada kondisi ini mengalami penurunan. Hal ini juga berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*) dan aliran tak-termampatkan (*incompressible-flow*). Persamaan Bernoulli dinyatakan dengan persamaan (2).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \tag{2}$$

Dengan :

- P : Tekanan (N/m^2)
- v : Kecepatan (m/s)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
- γ : Berat jenis (N/m^3)
- Z : Ketinggian (m)

2.5 Persamaan Kontinuitas

Hubungan dengan kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar (persamaan kontinuitas). Dimana persamaan kontinuitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$Q_1 = Q_2 \text{ atau } A_1 V_1 = A_2 V_2 \tag{3}$$

Dengan :

- Q : Debit (m^3/s)
- A : Luas penampang (m^2)
- v : Kecepatan (m/s)

Debit dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$Q = \frac{v}{t} \tag{4}$$

Dengan :

- Q : Debit (m^3/s)
- v : Kecepatan (m/s)
- t : Waktu (s)

2.6 Kerugian Head Tekanan

Kerugian *head* tekanan yang terjadi pada aliran di dalam pipa terdiri atas kerugian mayor dan kerugian minor [6].

$$h = h_f + h_m \quad (5)$$

Dengan :

- h : Kerugian gesek (m)
- h_f : Kerugian mayor (m)
- h_m : Kerugian minor (m)

2.7 Kerugian Mayor

Kehilangan tekanan yang disebabkan karena gesekan aliran fluida pada sistem aliran dengan luas penampang tetap disebut kerugian Mayor. Kerugian *head* akan terus berlangsung sepanjang aliran fluida yang melalui pipa, Hal ini diakibatkan oleh gesekan yang dialami antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh fluida. Kerugian *head* akibat dari gesekan dapat dihitung dengan persamaan (6) Darcy-Weisbach [7].

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Dengan :

- h_f : kerugian mayor (m)
- L : panjang pipa (m)
- d : diameter pipa (m)
- v : kecepatan (m/s)
- f : faktor gesek (didapat dari diagram *Moody*)

Diagram *Moody* telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida di dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy-Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynold kurang dari 2300 ($Re < 2300$), faktor gesek pada dihubungkan dengan bilangan Reynold.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

Aliran turbulen memiliki bilangan Reynold lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$), maka fungsional dari faktor gesekan (f) pada persamaan (7) tergantung berapa besar bilangan Reynold dan kekasaran relatif yang dinyatakan $f = (Re, \epsilon/D)$, nilai ϵ untuk pipa *fiber glass* sebesar 0,0015 sampai 0,007 mm.

2.8 Kerugian Minor

Kehilangan energi tekanan yang disebabkan gesekan yang terjadi pada katup, *elbow*, Tee, dan perubahan luas penampang aliran disebut kerugian minor. Kerugian minor dapat dihitung dengan korelasi Darcy-Weisbach yang dinyatakan pada persamaan (8) [7].

$$h_m = k \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Dengan :

- h_m : kerugian minor (m)
- v : kecepatan aliran (m/s)
- k : koefisien kerugian

2.9 Penurunan tekanan (*pressure drop*)

Pressure drop biasanya terjadi dari suatu titik terhadap titik lain pada aliran di dalam pipa. Untuk aliran satu fase, hal-hal yang mempengaruhi terjadinya *pressure drop* di antaranya adalah viskositas, densitas, tegangan permukaan dan bentuk geometri saluran serta kekasaran permukaan pipa. Secara matematis *pressure drop* dapat dinyatakan dalam persamaan (9).

$$p = \rho \times g \times h \tag{9}$$

Dengan :

p : penurunan tekanan (N/m²)

ρ : massa jenis fluida (kg/m)

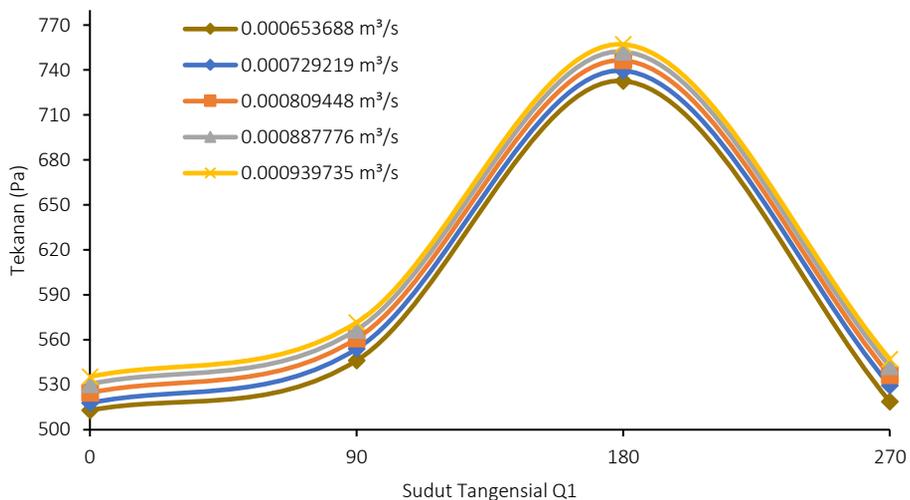
g : percepatan gravitasi (m/s²)

h : selisih ketinggian cairan pada manometer (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perubahan tekanan pada sudut tangensial

Gambar 3 adalah besarnya tekanan terhadap sudut tangensial, menunjukkan bahwa semakin besar sudut tangensial titik pengukuran, maka tekanan yang terjadi semakin kecil sampai maksimum sudut tangensial sebesar 180°. Hal tersebut dapat disebabkan adanya pemisahan aliran pada jari-jari minimum lingkaran belokan. Pada daerah pemisahan aliran terjadi pusaran-pusaran kecil pada kecepatan rendah, sehingga efek inersia dapat dikurangi oleh tegangan gesek pada dinding pipa. Penurunan tekanan pada daerah pemisahan juga karena efek viskositas lebih dominan pada daerah lapisan viskos. Namun, tekanan pada sudut tangensial titik pengukuran 180° menurun sampai sudut tangensial titik pengukuran 270°.

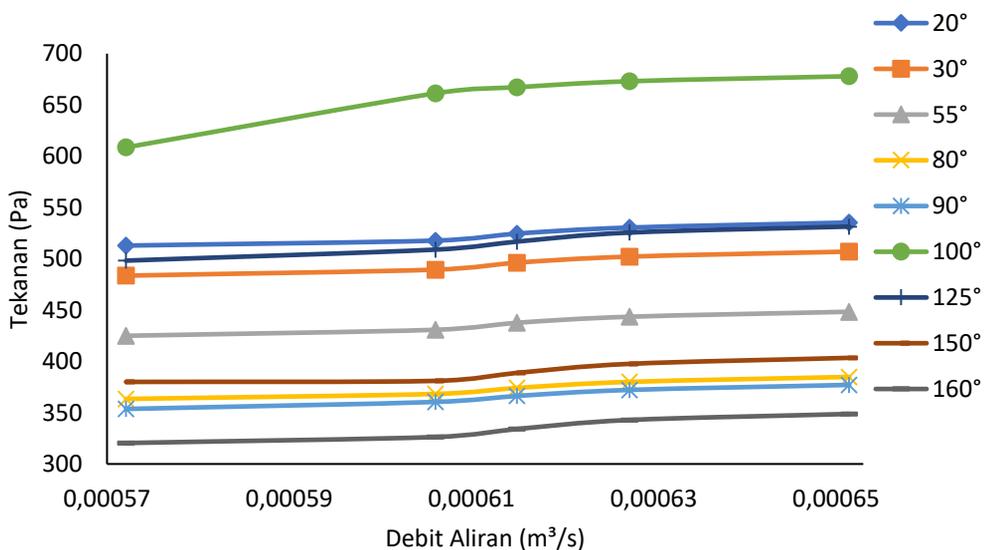


Gambar 3. Perubahan tekanan pada sudut tangensial

3.2 Perubahan tekanan pada berbagai sudut belokan dan debit aliran

Hasil perhitungan tekanan sepanjang belokan untuk berbagai debit aliran dapat dilihat pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar debit aliran maka semakin besar pula tekanan yang terjadi pada setiap sudut belokan pipa. Hal ini disebabkan karena setiap penambahan debit aliran

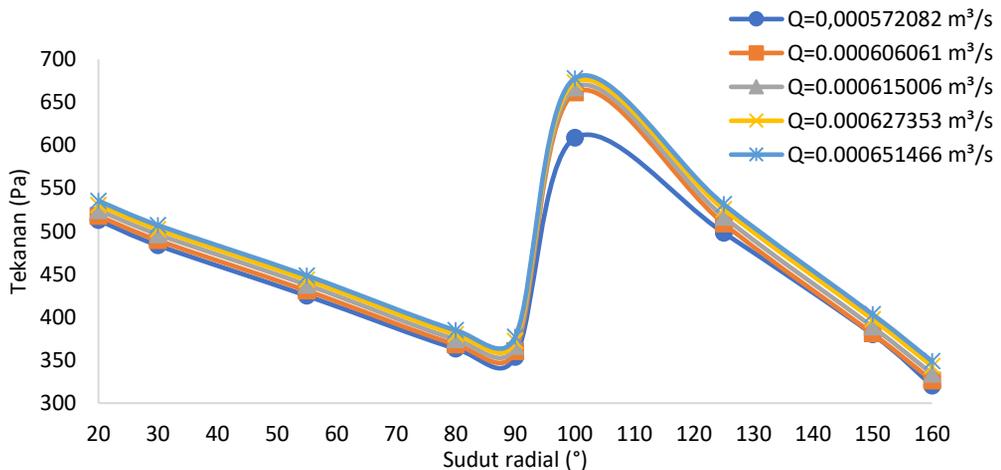
maka tekanan akibat kecepatan aliran meningkat. Peningkatan tekanan ini dipengaruhi oleh besarnya energi potensial yang dihasilkan dari besarnya debit aliran yang diberikan. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan oleh [Mahmuddin \[8\]](#), dimana tekanan cenderung mengalami penurunan pada berbagai sudut belokan. Namun pada sudut tangensial yang semakin besar, tekanan mengalami penurunan pada debit aliran yang konstan. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya kerugian gesek yang terjadi sepanjang belokan pipa. Pada belokan pipa 20° diperoleh tekanan sebesar 512,9 N/m² pada debit aliran 0,000572082 m³/s. Sedangkan pada sudut belokan 160° diperoleh tekanan sebesar 320,4 N/m² pada debit aliran 0,000572082 m³/s. Hal ini juga berlaku pada sudut tangensial 90°, 180°, dan 270°.



Gambar 3. Perubahan tekanan pada berbagai debit aliran dan sudut belokan

3.3 Perubahan tekanan pada berbagai sudut radial

Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin besar sudut radial, maka tekanan yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sudut radial berbanding terbalik dengan tekanan pada berbagai variasi debit aliran. Penurunan tekanan dan semakin besarnya sudut radial ini disebabkan karena pada sudut radial yang kecil mengalami kerugian gesek yang rendah. Jika titik pengukuran pada sudut radialnya besar maka tekanan yang dihasilkan kecil karena kerugian *head* sangat dipengaruhi gaya gesekan aliran pada permukaan pipa. Pada sudut radial 20° didapatkan tekanan sebesar 535,37 N/m² pada debit maksimum 0,000651466 m³/s, pada sudut radial 55° didapatkan tekanan sebesar 448,42 N/m², pada sudut radial 80° didapatkan tekanan sebesar 384,92 N/m², pada sudut radial 125° didapatkan tekanan sebesar 531,46 N/m², pada sudut radial 160° didapatkan tekanan sebesar 348,77 N/m².



Gambar 4. Perubahan tekanan pada berbagai sudut radial

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa besarnya tekanan aliran pada arah radial sepanjang belokan cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya debit aliran. Tekanan pada arah tangensial pada setiap titik radial belokan pipa cenderung mengalami penurunan hingga titik tangensial 180° kemudian meningkat sampai titik tangensial 270°. Sebaiknya dalam mengamati distribusi tekanan pada belokan pipa tekanannya diukur dengan menggunakan alat data akuisisi sehingga diperoleh data yang akurat dan dapat mendeteksi pengaruh fenomena aliran terhadap perubahan tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Zainudin, I. M. A. Sayoga, and M. Nuarsa, "Analisa pengaruh variasi sudut sambungan belokan terhadap head losses aliran pipa," *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 75-83, 2012.
- [2] A. Priyati, S. H. Abdullah, and K. Hafiz, "Analisis *head losses* akibat belokan pipa 90° (sambungan vertikal) dengan pemasangan *tube bundle*," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 7, no. 1, pp. 95-104, 2019.
- [3] S. Wahyudi, "Penurunan kerugian head pada belokan pipa dengan peletakan *tube bundle*," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 51-57, 2010.
- [4] N. Nurnawaty, "Analisis perubahan tinggi tekanan akibat sudut belokan 90° dan 45° dengan menggunakan fluid friction apparatus," *TEKNIK HIDRO*, vol. 13, no. 1, pp. 28-37, 2020.
- [5] R. Röhrig, S. Jakirlić, and C. Tropea, "Comparative computational study of turbulent flow in a 90° pipe elbow," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 55, pp. 120-131, 2015/10/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.07.011>.
- [6] H. T. Sularso, *Pompa dan Kompresor*, 7 th ed. Jakarta: Pradnya Paramitha, 2000.
- [7] F. M. White and M. Hariandja, *Mekanika Fluida (Terjemahan)*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1988.
- [8] Mahmuddin, "Studi eksperimental penurunan tahanan aliran melewati belokan pipa horizontal dengan variasi rasio R/D," *Teknik Mesin" TEKNOLOGI"*, vol. 18, no. 1, pp. 45-51, 2019.