

## Analysis of the Effect of 90° Pipe Elbow Design Variations and Inlet Flow Velocity on Pressure Drop Using Computational Fluid Dynamics Simulation

Fanji Maulana Sidiq<sup>1\*</sup>, Dony Hidayat Al- Janan<sup>1</sup>

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Semarang, INDONESIA

\*Corresponding author: [fanjimaulana43@students.unnes.ac.id](mailto:fanjimaulana43@students.unnes.ac.id)

Received July 3<sup>th</sup> 2025; Revised July 19<sup>th</sup> 2025; Accepted July 22<sup>th</sup> 2025

### Abstract

Most industrial processes utilize fluids as a medium for as a medium for transporting materials, both liquid and gas. Pipes as one of the channel components for fluid distribution are often difficult to avoid in their placement. Pressure drop often occurs in pipe bends which can reduce system efficiency. This study aims to examine the effect of variations in 90° pipe elbow design and velocity inlet on pressure drop. The method in this research is the Computational Fluid Dynamics method on Ansys Fluent 2024 R2 Student version software. In this study, 3 elbow pipe designs with the same pipe diameter and connection position dimensions were compared. The connection process is carried out at the same height so that gravity is treated in the same position. The results of this study show that elbow design 1 has the smallest pressure drop value compared to the other two elbow designs. This is clearly seen in the simulation results of pressure drop values, velocity magnitude vectors profiles, visualization of contours statics pressure and velocity magnitude. The conclusion of this research is that the pressure drop value is strongly influenced by elbow design and velocity inlet. If the velocity inlet increases, the pressure drop value also increases. While in the elbow design if the sharper the turn angle, the greater the pressure drop value will be. Based on the resulting pressure drop value, elbow 1 design is more efficient than the other two elbow designs because it has a lower pressure drop value.

**Keywords:** Ansys; CFD; Elbow; Inlet; Pressure Drop

## Analisis Pengaruh Variasi Desain *Elbow* Pipa 90° dan Kecepatan Aliran Inlet Terhadap *Pressure Drop* Menggunakan Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

### Abstrak

Sebagian besar proses industri memanfaatkan fluida sebagai media untuk pengangkutan material, baik dalam bentuk cair maupun gas. Pipa sebagai salah satu komponen saluran untuk distribusi fluida sering kali dalam penempatannya sulit dihindari adanya belokan. *Pressure drop* sering terjadi pada belokan pipa yang dapat mengurangi efisiensi sistem. Pada penelitian ini bertujuan meneliti pengaruh variasi desain *elbow* pipa 90° dan kecepatan aliran *inlet* terhadap *pressure drop*. Metode pada penelitian ini ialah metode *Computational Fluid Dynamics* pada software *Ansys Fluent 2024 R2 Student Version*. Dalam penelitian ini dibandingkan 3 desain pipa *elbow* dengan diameter pipa dan dimensi posisi sambungan yang sama. Proses penyambungan dilakukan dalam ketinggian yang sama sehingga gravitasi diperlakukan dalam posisi yang sama. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain *elbow* 1 mempunyai nilai *pressure drop* yang paling kecil dibandingkan kedua desain *elbow* lainnya. Hal tersebut jelas terlihat pada hasil simulasi nilai *pressure drop*, profil *vectors velocity magnitude*, visualisasi *contours statics pressure* dan *velocity magnitude*. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu nilai *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh desain *elbow* dan kecepatan aliran *inlet*. Jika kecepatan aliran *inlet* semakin meningkat maka nilai *pressure drop* juga meningkat. Sedangkan pada desain *elbow* jika semakin tajam sudut belokan, maka nilai *pressure drop* akan semakin besar. Berdasarkan nilai *pressure drop* yang dihasilkan bahwa desain *elbow* 1 lebih efisien daripada kedua desain *elbow* lainnya karena memiliki nilai *pressure drop* lebih rendah.

**Kata kunci:** Ansys; CFD; *Elbow*; *Inlet*; *Pressure Drop*

## I. PENDAHULUAN

Fluida adalah zat cair atau gas yang memiliki kemampuan untuk mengalir dari satu tempat ke tempat lainnya dan mampu menyesuaikan bentuk dengan tempatnya. Karakteristik ini menjadikan fluida sangat penting dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan perkembangan teknologi, termasuk dalam dunia industri modern (Debtera et al., 2021). Sebagian besar proses industri memanfaatkan fluida sebagai komponen utama atau pendukung dalam sistem operasionalnya (Aiman et al., 2020). Sebagai contoh, dalam industri pengolahan makanan, air digunakan sebagai pelarut, pembersih, dan media transportasi bahan baku. Di sektor energi, gas digunakan untuk transportasi energi dari satu lokasi ke lokasi lainnya, seperti dalam sistem pipa gas alam. Selain itu, fluida juga berperan dalam sistem pendinginan dan pemanasan, di mana cairan digunakan untuk memindahkan panas dari satu titik ke titik lainnya, memastikan bahwa peralatan beroperasi pada suhu yang aman dan efisien.

Salah satu komponen saluran yang digunakan untuk mendistribusikan fluida yaitu pipa. Dalam desain penempatan pipa yang strategis terutama dalam ruang terbatas sulit dihindari akan adanya suatu belokan. Sebagai contoh dalam sebuah industri, hal ini terlihat pada saluran pipa boiler, khususnya pada saluran uap utama. Saluran uap utama ini berfungsi menghubungkan boiler dengan ruang turbin utama (turbin bertekanan tinggi), dimana pipa ini mengalirkan uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi (Damanik et al., 2022). Aliran uap pada saluran pipa ini akan mengalami *pressure drop* yang disebabkan adanya belokan. Senada dengan pernyataan sebelumnya, penelitian yang dilakukan Qi et al., (2018) bahwa penggunaan pipa yang memiliki belokan dapat mengakibatkan peningkatan *pressure drop* yang lebih besar dibandingkan pipa lurus dengan panjang yang sama. Adanya belokan dalam suatu saluran pipa akan menyebabkan terjadinya *pressure drop* pada aliran yang disebabkan oleh perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran pipa tersebut (Fadhli & Sriwati, 2017). *Pressure drop* juga dapat

disebabkan oleh adanya peningkatan gaya gesek antara fluida dan dinding pipa, serta efek dari aliran sekunder yang dihasilkan oleh turbulensi yang terjadi pada belokan itu sendiri (Mohanty et al., 2021).

*Pressure drop* yang signifikan dapat berdampak negatif terhadap kinerja sistem, meningkatkan biaya operasional, dan berpotensi merusak peralatan jika tidak ditangani dengan baik (Cengel & Cimbala, 2018). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi *pressure drop* dalam pipa menjadi sangat penting.

Menurut Shabani et al., (2019) dalam penelitiannya menggunakan sudut belokan dalam rentang  $45^\circ$  hingga  $135^\circ$  menemukan bahwa sudut belokan yang lebih besar menyebabkan peningkatan turbulensi dan *pressure drop* yang lebih besar. Selain sudut belokan, kecepatan aliran *inlet* juga berperan penting dalam mempengaruhi nilai *pressure drop*. Seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran, fluida cenderung mengalami lebih banyak turbulensi, yang dapat meningkatkan losses pada sistem perpipaan. Kecepatan aliran yang tinggi dapat menyebabkan efek tambahan pada *pressure drop*, terutama jika dikombinasikan dengan belokan yang tajam. Penelitian yang telah dilakukan oleh Siswantara et al., (2025) menunjukkan bahwa variasi kecepatan aliran *inlet* dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai *pressure drop*. Oleh karena itu, analisis mengenai sudut belokan dan kecepatan aliran *inlet* menjadi krusial untuk memahami perilaku aliran dalam pipa.

Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada analisis aliran dalam pipa dengan menggunakan desain *elbow* pipa yang tetap dan belum mengeksplorasi pengaruh variasi desain *elbow* pipa sudut  $90^\circ$  yang masih banyak terdapat dilapangan serta hanya fokus pada analisis aliran dalam pipa dengan kecepatan aliran *inlet* yang tetap. Namun, masih terdapat celah dalam penelitian yang memfokuskan pada kombinasi kedua faktor tersebut secara simultan.

Dalam era modern ini, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) telah menjadi alat yang sangat efektif untuk menganalisis aliran fluida dan *pressure drop* dalam sistem perpipaan. Menurut Joshi et al., (2022) menyatakan bahwa CFD memungkinkan peneliti untuk memodelkan aliran fluida secara rinci dan mendapatkan hasil yang lebih akurat sebelum melakukan proses evaluasi eksperimen yang rumit dan membutuhkan waktu yang lama. Dengan menggunakan CFD, peneliti dapat melakukan simulasi berbagai skenario dan mendapatkan data yang relevan mengenai distribusi tekanan dan pola aliran.

Meskipun banyak penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh sudut belokan *elbow* pipa dan kecepatan aliran terhadap *pressure drop*, banyak yang terbatas pada kondisi tertentu atau tidak menggunakan metode CFD secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekurangan tersebut dengan pendekatan yang lebih holistik dan komprehensif, yang mempertimbangkan berbagai variasi desain *elbow* pipa  $90^\circ$  dan kecepatan aliran *inlet* secara bersamaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut penulis merasa perlu meneliti mengenai pengaruh variasi desain *elbow* pipa  $90^\circ$  dan kecepatan aliran *inlet* terhadap *pressure drop* menggunakan simulasi CFD. Dengan memahami hubungan ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan rekomendasi untuk desain sistem perpipaan yang lebih efisien dan efektif.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang diterapkan pada *Ansys Fluent 2024 R2 Student Version*. Pada penelitian ini penulis menganalisis aliran fluida yang melalui *elbow* pipa menggunakan 3 variasi desain *elbow* pipa  $90^\circ$ .

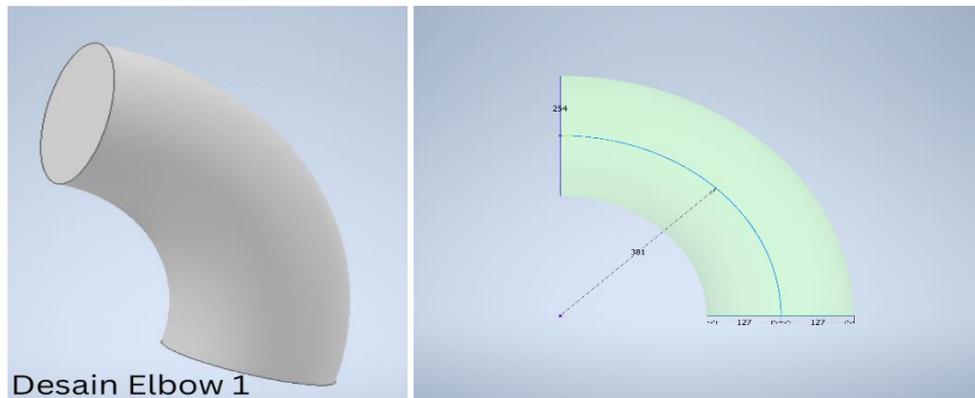
### 1. Desain Elbow Pipa $90^\circ$

Desain *elbow* pipa  $90^\circ$  menggunakan geometri *Fluid Flow (Fluent with Fluent Meshing)*. Geometri *elbow* pipa  $90^\circ$  memiliki panjang  $L = 381$  mm, diameter pipa  $D = 254$  mm dan radius kelengkungan  $R = 381$  mm yang berdasarkan standar dimensi pipa ukuran *elbow* pipa sebagaimana tercantum dalam buku literatur seperti Crane Co, (2018). Ukuran diameter pipa *elbow* sebesar 254 mm atau 10 inci banyak digunakan dalam aplikasi proses industri dan perpipaan uap dengan kapasitas menengah. Dalam penelitian ini dibandingkan 3 desain pipa *elbow* dengan diameter pipa dan menyambungkan dimensi posisi yang sama. Proses penyambungan dilakukan dalam ketinggian yang sama sehingga gravitasi

diperlakukan dalam posisi yang sama. Ketiga desain *elbow* pipa 90° merupakan bentuk solusi case penyambungan pipa sesuai dengan yang ditampilkan pada gambar 1.

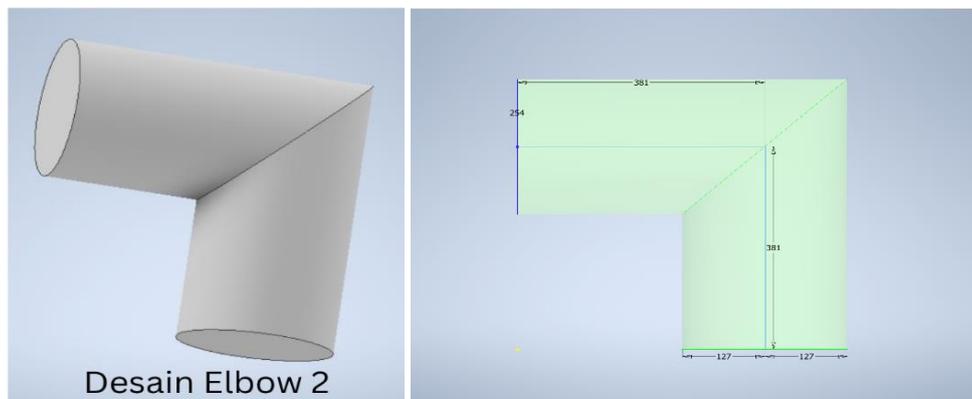
Tabel 1. Dimensi Pipa Elbow 90°

Parameter	Dimensi (mm)
Panjang Pipa	L = 381
Diameter	D = 254
Radius Kelengkungan	R = 381



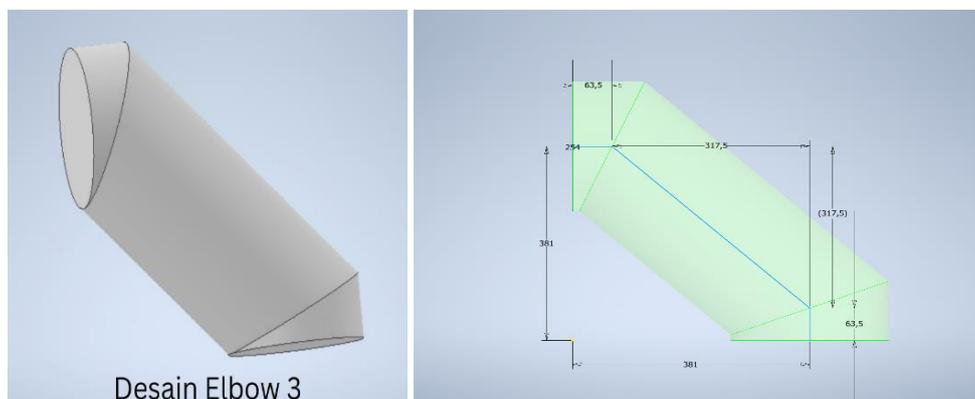
Desain Elbow 1

(a)



Desain Elbow 2

(b)



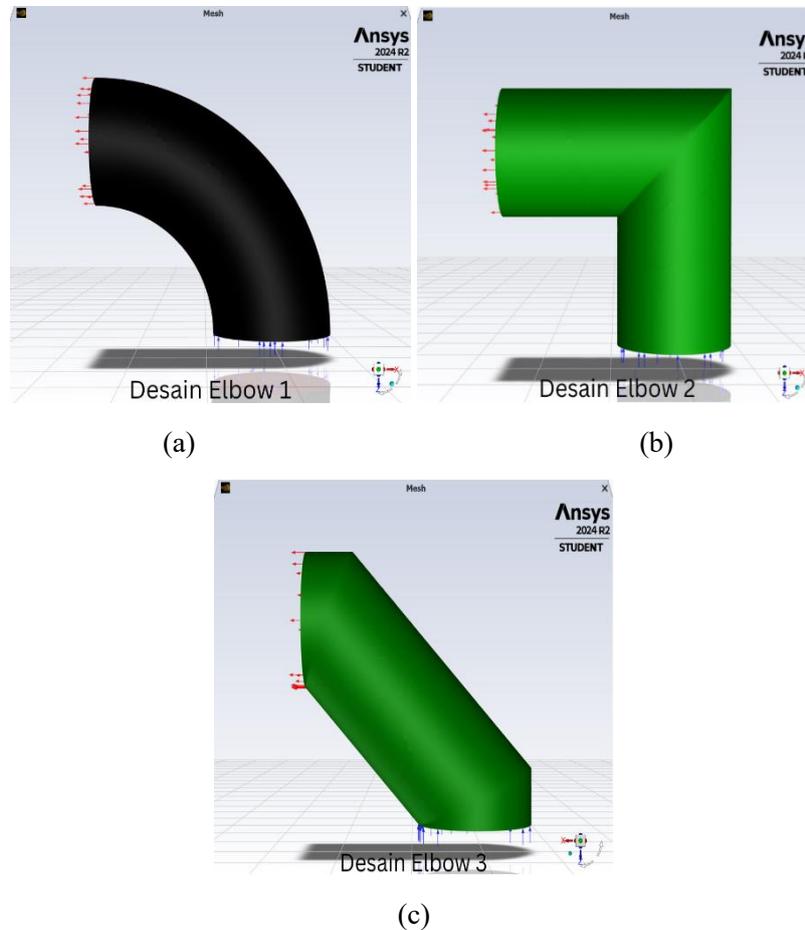
Desain Elbow 3

(c)

Gambar 1. Desain (a) *Elbow 1*, (b) *Elbow 2*, dan (c) *Elbow 3* (mm)

## 2. Simulasi Desain *Elbow* Pipa 90°

Pembuatan *fluid domain* sebagai *boundary condition* untuk menganalisis aliran fluida melewati *elbow* pipa 90°. *Boundary condition* dari saluran masuk (*inlet*) ditetapkan sebagai *velocity inlet*, sedangkan pada saluran keluar (*oulet*) ditetapkan sebagai *pressure outlet*. Dinding *elbow* pipa 90° pada tikungan ditetapkan sebagai *no-slip wall* dalam kondisi default. Untuk kondisi aliran inlet dan outlet tidak mempunyai ketinggian sehingga proses aliran mengenai besaran gravitasi yang sama. Adapun pembuatan *fluid domain* ketiga desain *elbow* pipa 90° berturut-turut terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. *Fluid Domain* Desain (a) *Elbow* 1, (b) *Elbow* 2, dan (c) *Elbow* 3

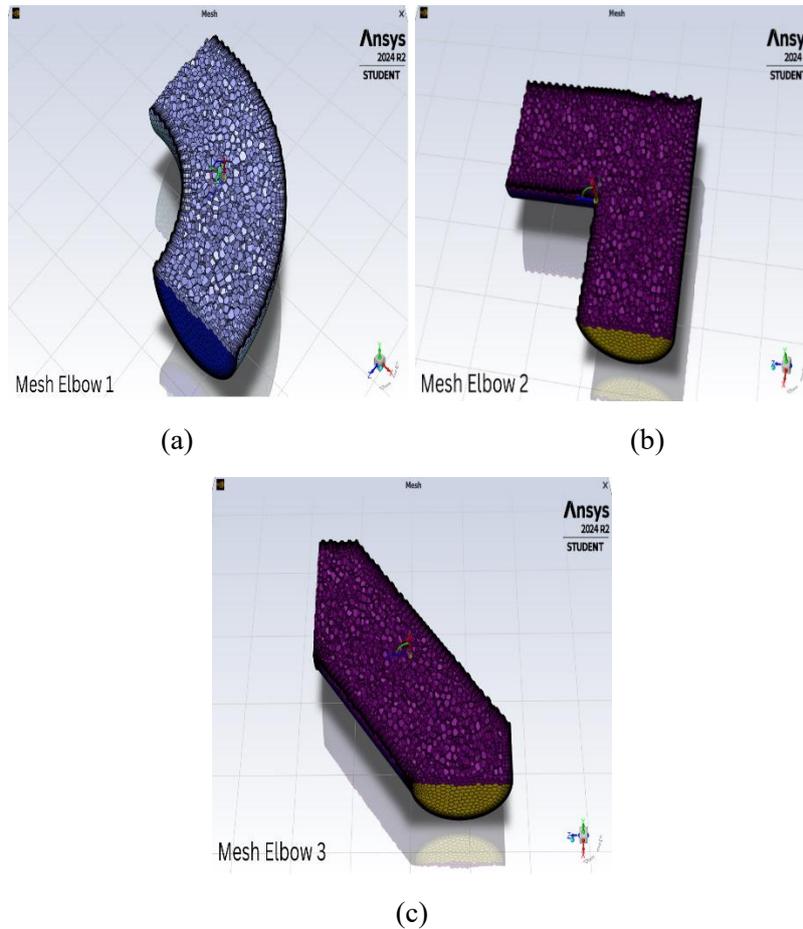
Penelitian ini menggunakan properties uap air (*water vapor*) sebagai fluida, dengan nilai fluida untuk densitas ( $\rho$ ) sebesar  $26.7 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas sebesar  $2.926 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$  yang merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Nikmah et al., (2022). Kondisi batas ditetapkan untuk aliran yang melewati benda uji di saluran masuk (*inlet*), saluran keluar (*oulet*), dan dinding (*wall*). Saluran masuk (*inlet*) didefinisikan sebagai kecepatan masuk (*velocity inlet*) dengan nilai 15 m/s, 16 m/s, dan 17 m/s.

Metode spesifikasi turbulen menggunakan intensitas 5% sebagai kondisi *default* dan diameter hidrolis menyesuaikan ukuran diameter *elbow* pipa 90° yaitu 254,508 mm. *Domain outlet* didefinisikan sebagai *pressure outlet* dengan metode spesifikasi turbulen yang sama dengan *domain inlet*.

Pengaturan simulasi dikonfigurasi pada pengaturan umum dengan model penyelesaian *pressure-based solver model*, *steady flow*, dan *velocity absolute*. Simulasi ini menggunakan aliran turbulen dengan model *viscous* ialah *k-epsilon realizable* yang dapat direalisasikan dengan *standart wall function*. Untuk *solution methods* yang dimanfaatkan adalah *scheme coupled* dengan dikritisasi *second order upwind*.

Simulasi solusi menggunakan kriteria konvergensi ditetapkan pada  $10^{-6}$  untuk kontinuitas, kecepatan X, kecepatan Y, kecepatan Z, k, dan *epsilon*. Proses iterasi dimulai dari sisi *inlet* agar mencapai

konvergensi. Iterasi akan mencapai konvergensi setelah nilai residual mencapai  $10^{-6}$ . *Hybrid initialization* dimanfaatkan dalam simulasi ini. Jenis *mesh polyhedral* digunakan untuk volume *meshing*. *Mesh polyhedral* menghasilkan elemen dengan kualitas yang baik dalam mempresentasikan geometri dibandingkan jenis *mesh* lainnya (Garimella et al., 2014). Pada gambar 3 menampilkan hasil *meshing* desain *elbow* pipa  $90^{\circ}$  dan tabel 2 menampilkan jumlah *mesh* dari desain *elbow* pipa  $90^{\circ}$ .



Gambar 3. Hasil *Meshing* Desain Desain (a) *Elbow 1*, (b) *Elbow 2*, dan (c) *Elbow 3*

Tabel 2. Jumlah *Mesh* Desain Elbow Pipa  $90^{\circ}$

	Jumlah <i>Mesh</i> (Cells)
Desain 1	81.794
Desain 2	104.492
Desain 3	123.874

### III. HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian terdiri dari data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa nilai *pressure drop* ( $\Delta P$ ). Data kualitatif meliputi visualisasi profil *velocity vector* dan tampilan plot *contours* untuk *static pressure* dan *velocity magnitude*. Nilai *pressure drop* ditentukan berdasarkan rumus turunan persamaan Bernoulli pada kasus tertentu. *Pressure drop* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \tag{1}$$

Dimana:

$$\Delta P = \text{Pressure drop (Pa)}$$

$P_1 = \text{Pressure inlet (Pa)}$

$P_2 = \text{Pressure outlet (Pa)}$

Pada tabel 3 menampilkan nilai *pressure drop* yang dihitung menggunakan rumus persamaan Bernoulli berdasarkan hasil simulasi untuk kecepatan 15 m/s, 16 m/s, juga 17 m/s.

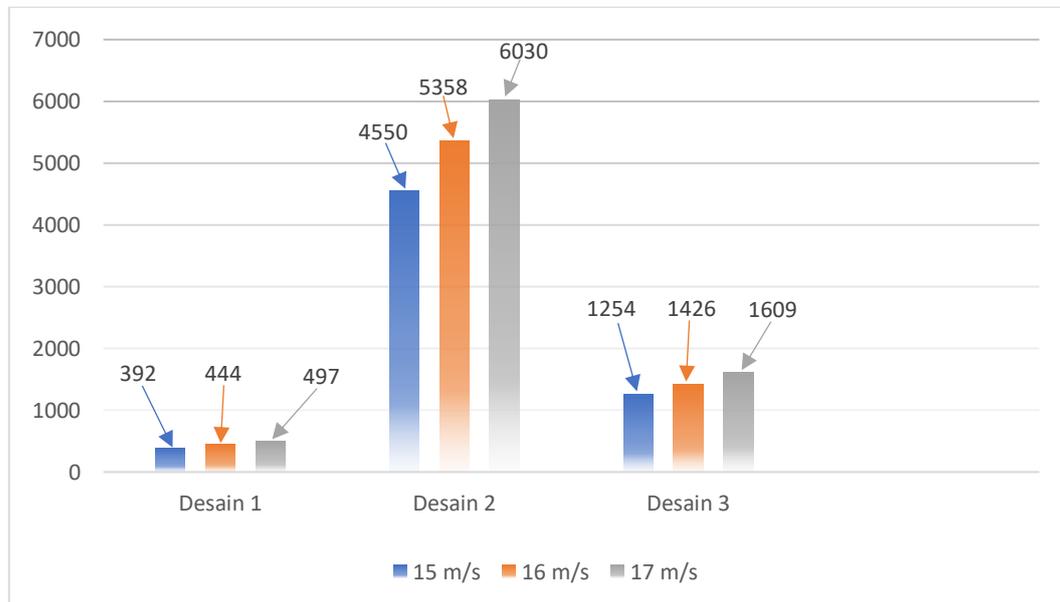
Tabel 3. Nilai *Pressure Drop* pada Desain *Elbow* Pipa 90°

	15m/s	16m/s	17m/s
<b>Desain 1</b>	3785 Pa – 3393 Pa = 392 Pa	4301 Pa – 3857 Pa = 444 Pa	4847 Pa – 4350 Pa = 497 Pa
<b>Desain 2</b>	9565 Pa – 5015 Pa = 4550 Pa	11083 Pa – 5725 = 5358 Pa	12545 Pa – 6515 Pa = 6030 Pa
<b>Desain 3</b>	5293 Pa – 4039 Pa = 1254 Pa	6021 Pa – 4595 Pa = 1426 Pa	6796 Pa – 5187 Pa = 1609 Pa

#### IV. PEMBAHASAN

##### 1. Analisis *Pressure Drop*

*Pressure drop* dalam pipa merupakan fenomena kehilangan tekanan yang terjadi ketika fluida mengalir melalui pipa yang disebabkan beberapa faktor termasuk sudut belokan pipa dan kecepatan aliran *inlet*. *Pressure drop* penting untuk diperhitungkan dalam desain sistem perpipaan karena dapat mempengaruhi efisiensi dan performa sistem. Nilai *pressure drop* (Pa) desain *elbow* pipa 90° untuk kecepatan 15 m/s, 16 m/s, juga 17 m/s ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Nilai *Pressure Drop* (Pa) pada Desain *Elbow* Pipa 90°

Dapat diamati dari gambar diatas bahwa dengan meningkatnya kecepatan aliran *inlet*, nilai *pressure drop* juga meningkat untuk setiap desain yang dianalisis. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Parely & Sudarma, (2023) yang menyebutkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran maka semakin besar nilai *pressure drop* yang dihasilkan.

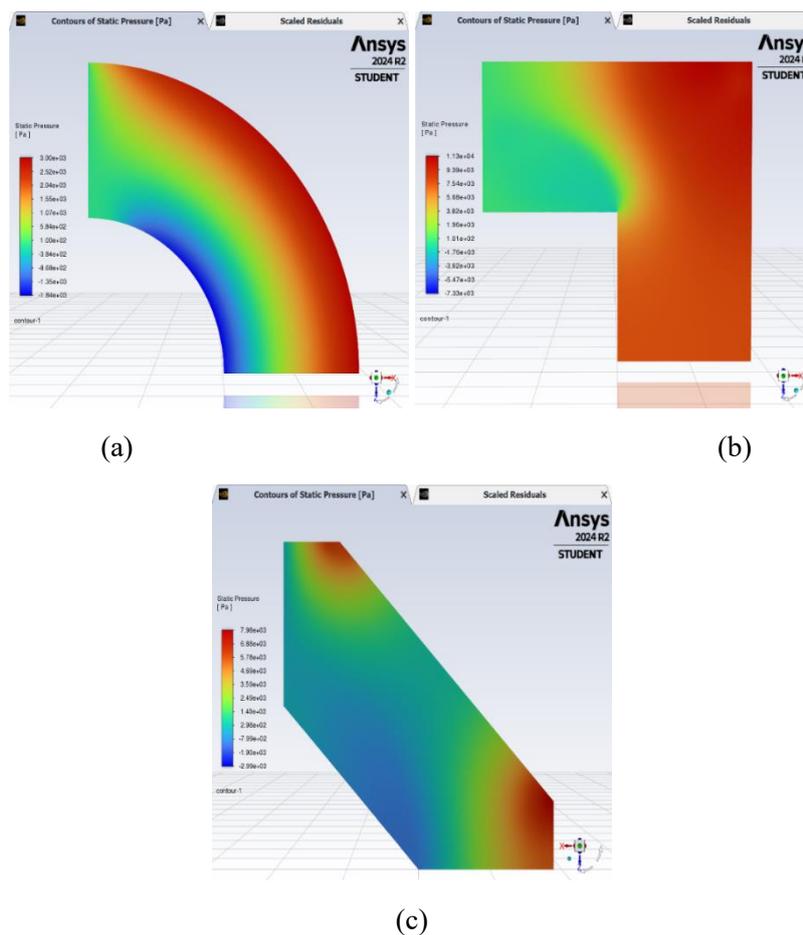
Desain 1 menunjukkan peningkatan *pressure drop* yang lebih rendah dibandingkan kedua desain lainnya. Hal ini disebabkan oleh pembelokan fluida yang dilakukan secara perlahan melalui sudut dengan degradasi sangat kecil sehingga tidak mengalami separasi yang signifikan (Lemone et al., 2018). Meskipun tetap terdapat peningkatan seiring bertambahnya kecepatan, nilai-nilai tersebut tetap jauh

lebih rendah dan menunjukkan performa yang lebih efisien dalam hal *pressure drop*. Desain ini dapat diandalkan karena mampu mengurangi kehilangan energi lebih baik daripada desain lainnya.

Pada desain 2 menunjukkan nilai *pressure drop* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan desain 1 dan desain 3. Hal ini disebabkan oleh geometri sudut belokan tajam yang dimiliki salurannya sehingga fluida mengalami perubahan arah secara tiba-tiba yang memicu terjadinya *pressure drop* dan turbulensi (Akbar et al., 2024). Peningkatan yang signifikan dalam *pressure drop* pada setiap kecepatan menunjukkan adanya masalah efisiensi yang serius. Analisis lebih lanjut untuk desain perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi.

Desain 3 menunjukkan peningkatan *pressure drop* seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran *inlet*. Mungkin desain ini memiliki geometri yang baik, tetapi masih belum optimal karena masih memungkinkan terjadinya peningkatan *pressure drop* yang cukup signifikan namun masih dalam batas yang diterima. Desain ini cukup efisien untuk digunakan tapi masih terdapat celah untuk perbaikan terutama untuk mengurangi turbulensi.

## 2. Profil Visualisasi *Contours of Static Pressure*



Gambar 5. *Contours of Pressure Static* pada Desain (a) *Elbow 1*, (b) *Elbow 2*, dan (c) *Elbow 3*

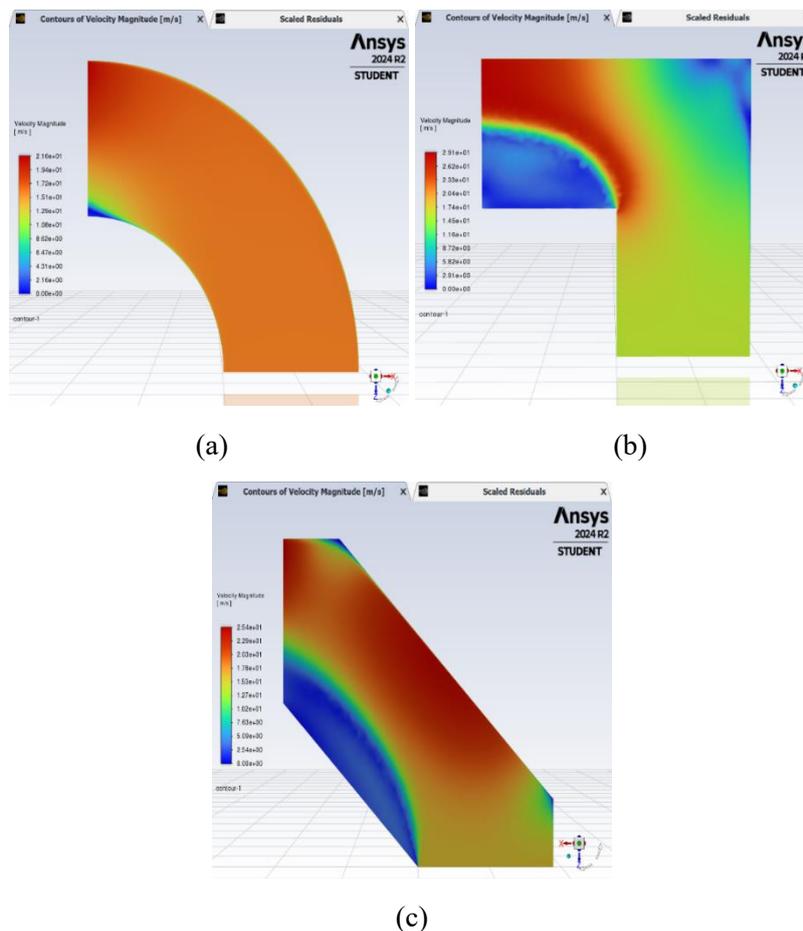
Pada gambar 5(a), menampilkan hasil *contours static pressure* desain *elbow 1*, terlihat jelas dibagian luar lengkungan *elbow* menunjukkan bahwa tekanan statik lebih tinggi (warna merah). Hal ini sesuai dengan pernyataan Dutta et al., (2015) bahwa gaya sentrifugal mendorong fluida ke dinding luar, sehingga menghasilkan tekanan yang lebih besar di area tersebut. Sebaliknya dibagian dalam lengkungan *elbow* menunjukkan tekanan statik lebih rendah (warna biru) disebabkan oleh fluida mengalami akselerasi saat bergerak ke luar yang menyebabkan *pressure drop*.

Desain *elbow 2* pada gambar 5(b), menunjukkan pada bagian kanan gambar, terlihat area memiliki tekanan yang tinggi (merah). Hal ini terjadi karena akumulasi fluida yang terjadi sebelum memasuki

belokan. Fluida mungkin terkompresi di area ini sehingga menghasilkan tekanan yang lebih besar. Sedangkan di area sudut dalam belokan, terlihat warna hijau dan biru yang menunjukkan tekanan lebih rendah. Menurut Lamsal, (2023) hal ini disebabkan oleh kecepatan fluida yang meningkat saat memasuki belokan sehingga terjadi turbulensi atau pemisahan aliran.

Pada desain *elbow 3* yang ditunjukkan gambar 5(c), terlihat pada bagian atas gambar dimana warna merah menunjukkan tekanan lebih tinggi. Pada bagian ini fluida mungkin memiliki kecepatan yang lebih rendah atau terdapat kondisi aliran yang stabil memungkinkan tekanan terakumulasi. Sedangkan di bagian bawah gambar terlihat warna biru yang menunjukkan tekanan lebih rendah. Menurut Momin et al., (2024) hal ini disebabkan adanya peningkatan kecepatan fluida pada area ini atau pengaruh gesekan fluida dengan dinding *elbow* sehingga terjadi penurunan tekanan.

### 3. Profil Visualisasi *Contours of Velocity Magnitude*



Gambar 6. *Contours of Velocity Magnitude* pada Desain (a) *Elbow 1*, (b) *Elbow 2*, dan (c) *Elbow 3*

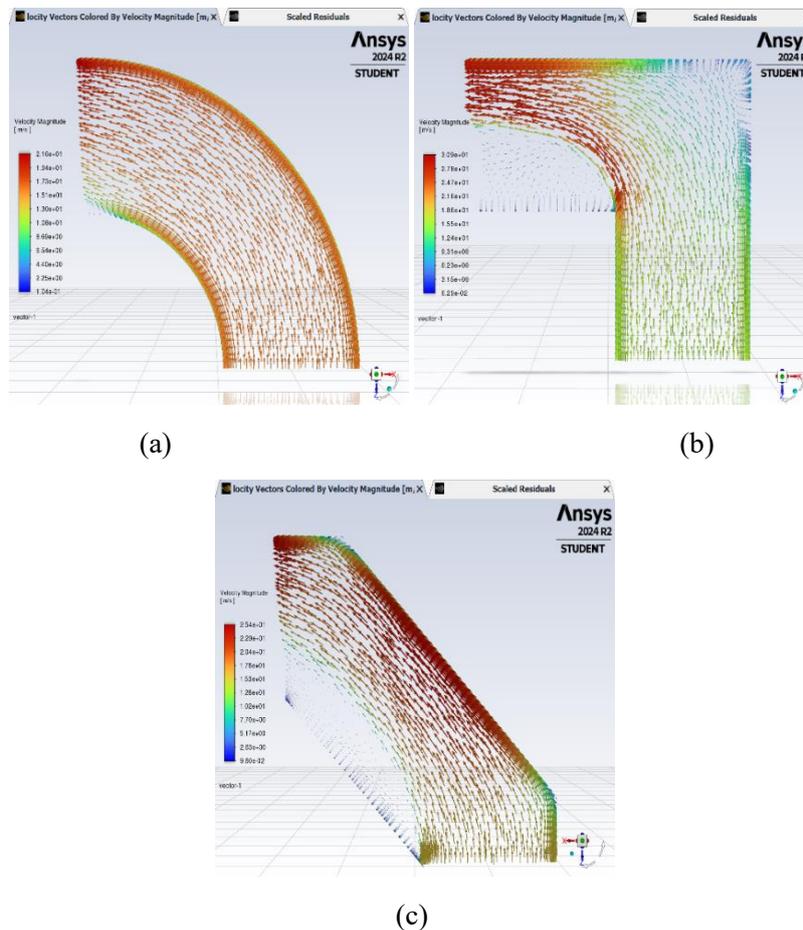
Pada gambar 6(a), desain *elbow 1* yang melengkung mempengaruhi distribusi kecepatan, ketika fluida saat berbelok kecepatan cenderung meningkat di sisi luar dan menurun di dalam. Terlihat dibagian atas gambar, dimana warna merah menunjukkan area magnitudo kecepatan tertinggi. Ini mungkin terjadi karena kecepatan fluida meningkat pada saat berbelok. Sedangkan dibagian ujung bawah gambar, warna biru menunjukkan kecepatan yang lebih rendah yang disebabkan oleh gesekan fluida dengan dinding saluran atau pengurangan aliran saat fluida memasuki area belokan.

Desain *elbow 2* pada gambar 6(b), aliran berakselerasi saat mengalir melewati belokan dan memisahkan diri dari dinding saluran melewati sisi belokan bagian dalam yang membentuk zona kecepatan rendah (warna biru) dan pada bagian tengah saat aliran berbelok menunjukkan kecepatan yang lebih tinggi (warna merah). Kecepatan aliran pada sisi bagian luar belokan juga menunjukkan kecepatan aliran lebih rendah. Dimana warna merah menunjukkan area dengan magnitudo kecepatan tertinggi yang

disebabkan oleh perubahan arah aliran atau pengaruh desain saluran. Sedangkan warna biru dan hijau menunjukkan kecepatan yang lebih rendah, hal ini terlihat jelas warna biru pada bagian kanan atas gambar dan sisi dalam belokan yang disebabkan oleh gesekan fluida dengan dinding saluran pada saat fluida mulai memasuki area belokan.

Desain elbow 3 pada gambar 6(c), fluida mengalir dari arah *inlet* (kiri) menuju *outlet* (kanan). Kecepatan lebih rendah yang ditunjukkan warna biru ketika fluida didekat dinding yang disebabkan gesekan fluida dan dinding saluran. Pada saat di area tengah saluran, fluida lebih bebas bergerak yang ditunjukkan *contours* warna hijau hingga merah sehingga kecepatan fluida mulai meningkat akibat minimnya hambatan pada area tersebut.

#### 4. Profil Visualisasi *Vectors of Velocity Magnitude*



Gambar 7. *Vectors of Velocity Magnitude* pada Desain (a) *Elbow 1*, (b) *Elbow 2*, dan (c) *Elbow 3*

Pada gambar 7(a), menampilkan *vectors velocity magnitude* dari desain *elbow 1*, vektor yang lebih panjang dibagian luar belokan menunjukkan bahwa aliran fluida mengalami kecepatan tinggi (warna merah) saat berbelok. Sebaliknya pada bagian sisi dalam belokan, vektor yang lebih pendek menunjukkan penurunan kecepatan (warna biru) dikarenakan fluida (menumpuk) tertahan pada area tersebut.

Desain *elbow 2* pada gambar 7(b), vektor warna merah menunjukkan kecepatan tinggi yang terlihat pada aliran fluida yang mengikuti sudut belokan. Pada area sisi dalam belokan vektor berwarna orange-biru menunjukkan penurunan kecepatan. Menurut (Renzhi & Lei, 2019) menyebutkan bahwa hal ini disebabkan fluida dipaksa berbelok tajam sehingga muncul zona perlambatan akibat separasi sebagian fluida (fluida yang sedang mengalir terlepas dari dinding saluran)

Desain *elbow 3* pada gambar 7(c). kecepatan fluida lebih tinggi ditunjukkan vektor yang lebih panjang (warna merah) pada area tengah saluran. Hal ini terjadi karena aliran fluida bergerak lebih bebas.

Sedangkan pada area belokan saluran, vektor lebih pendek menunjukkan penurunan kecepatan yang disebabkan gesekan dengan dinding saluran atau perubahan arah yang lebih halus.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diperoleh bahwa desain 1 menghasilkan nilai *pressure drop* paling kecil di setiap variasi kecepatan yaitu berkisar 393 Pa sampai 496 Pa. Desain 2 memiliki nilai *pressure drop* paling tinggi yaitu 4550 Pa hingga 6030 Pa. Desain 3 memiliki *pressure drop* yang lebih rendah dari desain 2 tetapi lebih tinggi dari desain 1. Nilai *pressure drop* pada desain 3 berkisar dari 1254 Pa hingga 1609 Pa. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa nilai *pressure drop* sangat dipengaruhi oleh desain *elbow* dan kecepatan aliran *inlet*. Semakin meningkat kecepatan aliran *inlet* maka semakin besar pula nilai *pressure drop* yang terjadi. Selain itu pada desain *elbow* jika semakin tajam sudut belokan, maka nilai *pressure drop* akan semakin besar. Berdasarkan nilai *pressure drop* yang dihasilkan menunjukkan bahwa desain *elbow* 1 lebih efisien dibanding kedua desain *elbow* lainnya karena memiliki nilai *pressure drop* lebih rendah. Untuk desain 2 memiliki nilai *pressure drop* yang paling tinggi yang disebabkan oleh belokan tajam pada salurannya yang memicu turbulensi dan separasi aliran sehingga desain ini kurang efisien jika digunakan dalam sistem yang memerlukan efisiensi tekanan. Desain 3 lebih efisien daripada desain 2, namun masih terdapat ruang perbaikan untuk mengurangi *pressure drop* sehingga dapat menjadi alternatif lain jika desain 1 tidak memenuhi kriteria lain diluar *pressure drop*.

## VI. REFERENSI

- Aiman, Y., Mariam, S., Musa, M. N., & Syahrullail, S. (2020). Air Flow Analysis and Effect of Angle on Rotation Vane Blade Trough 90° Pipe Bend. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 884(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/884/1/012100/pdf>
- Akbar, M. K., Roihatin, A., & Aulia, N. F. (2024). Computational Analysis Of Pipe Bend Angle Effect On Pressure Drop. *Jurnal Polimesin*, 22(1), 57–62. <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*.
- Crane Co. (2018). Flow of Fluids Through Valve Fittings and Pipes. In *Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe* (Metric).
- Damanik, D. A., Simanjuntak, K., Handika Sinaga, H., Simangunsong, K. A., Silitonga, L. C., Nainggolan, R., Ibrahim, H., & Alfansuri, M. (2022). SINERGI Polmed : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Info Artikel. *Sinergi Polmed*, 03, 35–42. <https://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/article/view/743>
- Debtera, B., Sundramurthy, V. P., & Neme, I. (2021). Computational Fluid Dynamics Simulation and Analysis of Fluid Flow in Pipe: Effect of Fluid Viscosity. *Article in Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 17. [https://www.researchgate.net/publication/351513151\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics\\_Simulation\\_and\\_Analysis\\_of\\_Fluid\\_Flow\\_in\\_Pipe\\_Effect\\_of\\_Fluid\\_Viscosity](https://www.researchgate.net/publication/351513151_Computational_Fluid_Dynamics_Simulation_and_Analysis_of_Fluid_Flow_in_Pipe_Effect_of_Fluid_Viscosity)
- Dutta, P., Saha, S. K., & Nandi, N. (2015). Computational study of turbulent flow in pipe bends. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(11), 10128–10133. [https://www.researchgate.net/publication/282950530\\_Computational\\_study\\_of\\_turbulent\\_flow\\_in\\_pipe\\_bends](https://www.researchgate.net/publication/282950530_Computational_study_of_turbulent_flow_in_pipe_bends)
- Fadhli, & Sriwati. (2017). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Belokan Pipa (Elbow) Terhadap Kecepatan Aliran Fluida. *ILTEK*, 12(1), 1. <https://media.neliti.com/media/publications/326066-studi-eksperimental-pengaruh-variabel-belokan-pipa-terhadap-kecepatan-aliran-fluida.pdf>
- Garimella, R. V., Kim, J., & Berndt, M. (2014). Polyhedral Mesh Generation and Optimization for Non-manifold Domains. In *Proceedings of the 22nd International Meshing Roundtable* (pp. 313–330).

Springer International Publishing. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-02335-9\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-02335-9_18)

- Joshi, T., Parkash, O., & Krishan, G. (2022). CFD modeling for slurry flow through a horizontal pipe bend at different Prandtl number. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(56), 23731–23750. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922023345>
- Lamsal, A. (2023). Analyzing Pipe Flow Scenarios using Computational Fluid Dynamics (CFD). In *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology* (Vol. 8). [https://www.researchgate.net/publication/374536063\\_Analyzing\\_Pipe\\_Flow\\_Scenarios\\_using\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics\\_CFD](https://www.researchgate.net/publication/374536063_Analyzing_Pipe_Flow_Scenarios_using_Computational_Fluid_Dynamics_CFD)
- Lemone, M. A., Angevine, W. M., Bretherton, C. S., Chen, F., Dudhia, J., Fedorovich, E., Katsaros, K. B., Lenschow, D. H., Mahrt, L., Patton, E. G., Sun, J., Tjernström, M., & Weil, J. (2018). 100 years of progress in boundary layer meteorology. *Meteorological Monographs*, 59, 9.1-9.85. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/amsm/59/1/amsmmonographs-d-18-0013.1.xml>
- Mohanty, C., Nayak, B., & Maharana, P. (2021). Analysis of Pipe Flow for Various Bend Angle using CFD. *Juni Khyat Jurnal*, 2. [http://junikhayatjournal.in/no\\_2\\_Online\\_21/85.pdf](http://junikhayatjournal.in/no_2_Online_21/85.pdf)
- Momin, M., Rahmani, F., Makki, E., Sharma, M., Giri, J., & Sathish, T. (2024). The impact of 180° return bend inclination on pressure drop characteristics and phase distribution during oil-water flow. *Heliyon*, 10(2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024002822>
- Nikmah, A., Amalia, R., & Satrio, D. (2022). Analysis of the Effect of Bend Angle Outlet Main Steam Line on the Steam Flow Characteristic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 972(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/972/1/012064>
- Parely, R. N., & Sudarma, A. F. (2023). Pengaruh Guide Vanes terhadap Aliran Udara pada Saluran dengan Variasi Kecepatan Aliran Menggunakan Ansys Fluent. *Jurnal Sain Dan Teknik*, 5(1), 1–12. [https://www.researchgate.net/publication/371721696\\_Pengaruh\\_Guide\\_Vanes\\_Terdapat\\_Aliran\\_Udara\\_Pada\\_Saluran\\_Dengan\\_Variasi\\_Kecepatan\\_Aliran\\_Menggunakan\\_Ansys\\_Fluent](https://www.researchgate.net/publication/371721696_Pengaruh_Guide_Vanes_Terdapat_Aliran_Udara_Pada_Saluran_Dengan_Variasi_Kecepatan_Aliran_Menggunakan_Ansys_Fluent)
- Qi, C., Chen, Q., Fourie, A., Zhao, J., & Zhang, Q. (2018). Pressure drop in pipe flow of cemented paste backfill: Experimental and modeling study. *Powder Technology*, 333, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.03.070>
- Renzhi, W., & Lei, Q. (2019). Numerical study on flow characteristics and energy loss mechanism in the 90° circular pipe bend. *International Conference on Advances in Construction Machinery and Vehicle Engineering (ICACMVE)*, 403–407. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8995827>
- Shabani, S., Abedini, A. A., & Mohammadtabar, A. (2019). The Effect of the Pipe Bending Angle on the Pressure Losses Vane Elbow Pipes. *The Asian Review of Civil Engineering*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.51983/tarce-2019.8.1.2287>
- Siswantara, A. I., Syuriadi, A., Irwansyah, R., Gunadi, G. G. R., Kamal, D. M., & Supriyadi. (2025). Analysis of the Effect of Inlet velocity on Pressure drop on Cyclone separator to be used in Pyrolysis system. *Journal of Physics: Conference Series*, 2972(1), 1–13. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2972/1/012016>