

# CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk menganalisis *head loss* akibat perubahan diameter

Nur Hayati<sup>1</sup>, Adi Purwanto<sup>2</sup>, Erwan Muladi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jalan Kapten Suparman No 39, Magelang 56116

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND

Jalan Kalisahak No 28, D.I. Yogyakarta 55222

Email korespondensi: nurhayati@untidar.ac.id

## Abstrak

Sistem perpipaan dengan banyak komponen pendukung digunakan untuk mengalirkan air. Sambungan atau elbow mengakibatkan *head loss*, yaitu hilangnya aliran dalam sistem. *Head loss* adalah hilangnya energi aliran yang secara signifikan dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis *headloss* akibat variasi diameter elbow. Elbow yang digunakan memiliki diameter 1, 2, 4, dan 6 inch. Berdasarkan hasil simulasi dan hasil perhitungan nomograf menggunakan standar ASME B16.9 B16.28, terlihat bahwa *head loss* menurun dengan bertambahnya diameter elbow. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang serupa dengan perhitungan dari nomograf.

**Kata kunci:** head loss, elbow, simulasi, nomograf.

## Abstract

Piping systems with many supporting components are used to drain water. Connections or elbows result in head loss, namely the loss of flow in the system. Headloss is the loss of flow energy which is significantly affected by flow velocity. This study aims to analyze head loss due to variations in elbow diameter. The elbows used have diameters of 1, 2, 4, and 6 inch. Based on the simulation results and the results of nomograph calculations using the ASME B16.9 B16.28 standard, it can be seen that head loss decreases with increasing elbow diameter. The simulation results show similar results to the calculations from the nomograph.

**Keywords:** head loss, elbow, simulation, nomograph.

## 1. Pendahuluan

Air merupakan suatu zat cair mengalir (fluida) yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sistem perpipaan dengan banyak komponen pendukung digunakan untuk mengalirkan air [1]. Pipa adalah saluran tertutup untuk mengalirkan cairan [2]. Setiap komponen memiliki fungsi yang berbeda. *Knee*, *elbow* dan *mitter* adalah bagian yang digunakan untuk mengarahkan atau membelokkan aliran. Sambungan atau belokan mengakibatkan *head loss*, yaitu hilangnya aliran dalam sistem.

*Head loss* adalah hilangnya energi aliran yang secara signifikan dipengaruhi oleh kecepatan aliran [3]. Ada dua kategori *head loss* yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. Menurut Darcy Weisbach, Persamaan (1) berikut menentukan besarnya *head loss*:

$$2. H_f = f \frac{L.v^2}{D.2g} \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa  $H_f$  = *head loss mayor* (m),  $f$  = faktor gesekan,  $L$  = panjang pipa (m),  $D$  = diameter pipa (m),  $v$  = kecepatan aliran (m/s), dan  $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>).

Sementara itu, Persamaan (2) berikut digunakan untuk menghitung *head loss minor* yaitu:

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Persamaan (2) menunjukkan bahwa  $v$  = kecepatan fluida (m/s),  $k$  = koefisien *minor losses*, dan  $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>).

Beberapa kajian terkait *head loss*, diantaranya [4] mengkaji adanya *head loss* pada belokan 45° dan 90°. Menurut kajian ini, belokan dapat menyebabkan *head loss*. Koefisien *head loss* untuk belokan 45° dan 90° masing-masing adalah 0,24 dan 1,13, dengan *head loss* rata-rata masing-masing 0,003418 m dan 0,016093 m. *Head loss* dipengaruhi oleh besar kecilnya sudut belokan di mana semakin besar sudut belokan, semakin besar *head loss*.

Kajian lain yaitu aliran turbulen pada pipa berdiameter 0,0254 m dan 0,0508 m serta panjang 2 m menggunakan *software* CFD [5]. Diperoleh bahwa pipa berdiameter 0,0254 m dengan laju aliran 1,241 m/s dan nilai tekanan 972 Pa memiliki laju aliran terbesar, sedangkan pipa berdiameter 0,0508 m dengan laju aliran 1,233 m/s dan nilai tekanan 427 Pa.

Pengaruh lokasi sambungan pipa lengkung yang berbeda terhadap *pressure drop* dan *head loss* dikaji oleh [6]. Sudut kelengkungan antara 30°, 45°, 60°, dan 90°. Hasil ekkperimen menunjukkan bahwa *head loss* dan *pressure drop* paling rendah pada sudut 30° yaitu 73,23 mm dan 907,606 N/m<sup>2</sup>. Sedangkan pada sudut 90° yaitu 74,80 mm dan 1278,899 N/m<sup>2</sup> terjadi *head loss* dan *pressure drop* tertinggi.

### 3. Metode

Berdasarkan standar ASME B16.9 B16.28, *head loss* ditinjau dari perubahan diameter *elbow* menggunakan simulasi CFD dan perhitungan nomograf. *Software* Ansys Workbench 19.0 digunakan untuk proses simulasi.

Prosedur perancangan dan simulasi aliran fluida menggunakan teknologi CAD (*Computer Aided Design*) dan CAE (*Computer Aided Engineering*), khususnya Solidworks 2016. Solidworks menawarkan berbagai fitur berdasarkan pemodelan solid parametrik untuk menyederhanakan proses simulasi dengan *meshing* dan kondisi batas yang spesifik. Perhitungan yang melibatkan persamaan diferensial diubah menjadi perhitungan aljabar menggunakan CAD dan CAE untuk mempermudah penyelesaian.

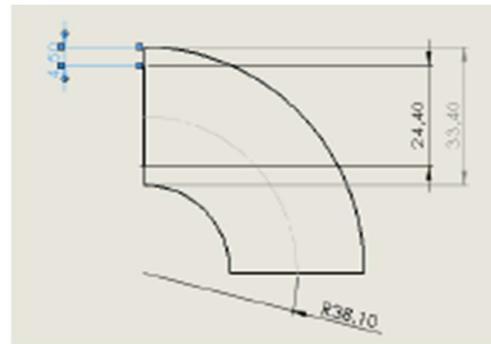
Nomograf berdasarkan rumus Hazen-Williams digunakan untuk menentukan karakteristik aliran fluida [7]. Umur pipa dan jenis bahan penyusun dipengaruhi oleh faktor C. Nilai C pipa menurun seiring bertambahnya umur dan paling tinggi untuk pipa yang baru dipasang. Informasi tentang statistik kerugian aliran dan kecepatan aliran pipa tersedia dari tabel nomograf.

Tabel 1 berikut menyajikan dimensi *elbow* yang digunakan.

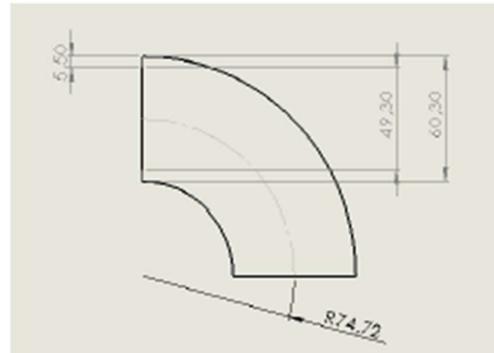
Tabel 1. Dimensi elbow.

Nominal Pipe Size (NPS)	Outside Diameter (OD) (mm)	Radius (A) (mm)	Ketebalan Dinding (Sch 80S)
1"	33,4	38,1	4,5
2"	60,3	76,2	5,5
4"	114,3	152,4	8,6
6"	168,3	228,6	11,0

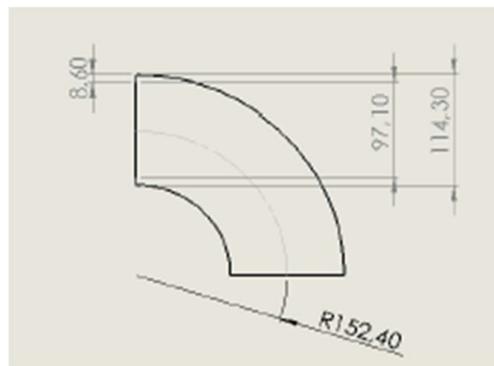
Gambar 1 berikut menunjukkan sketsa *elbow* yang digunakan.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Sketsa elbow dengan (a) 1 inch, (b) 2 inch, (c) 4 inch, dan (d) 6 inch.

Data material yang digunakan yakni pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Data material.

Material fitting	
Bahan	: <i>Stainless steel</i>
Model type	: <i>Linear elastic isotropic</i>
Yield strength	: 172,339 N/mm <sup>2</sup>
Tensile strength	: 513,613 N/mm <sup>2</sup>
Elastic modulus	: 200.000 N/mm <sup>2</sup>
Poisson's ratio	: 0,28
Mass density	: 7.800 kg/m <sup>3</sup>
Shear modulus	: 78.000 N/mm <sup>2</sup>

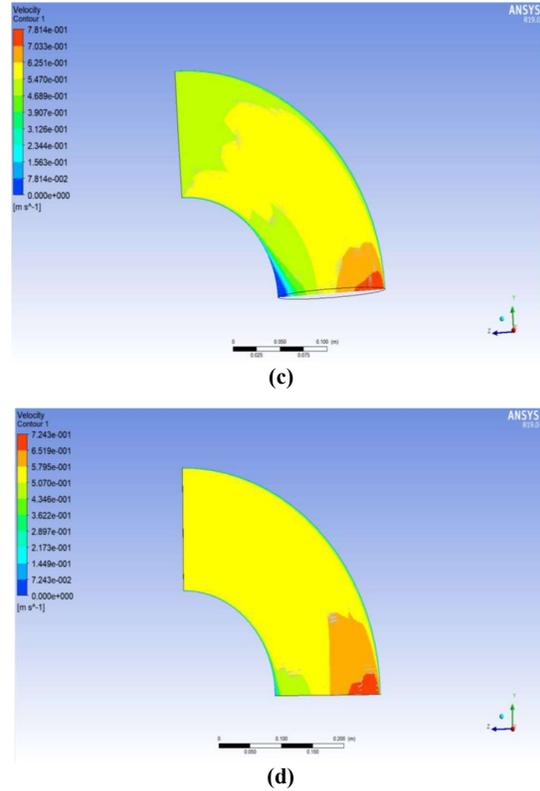
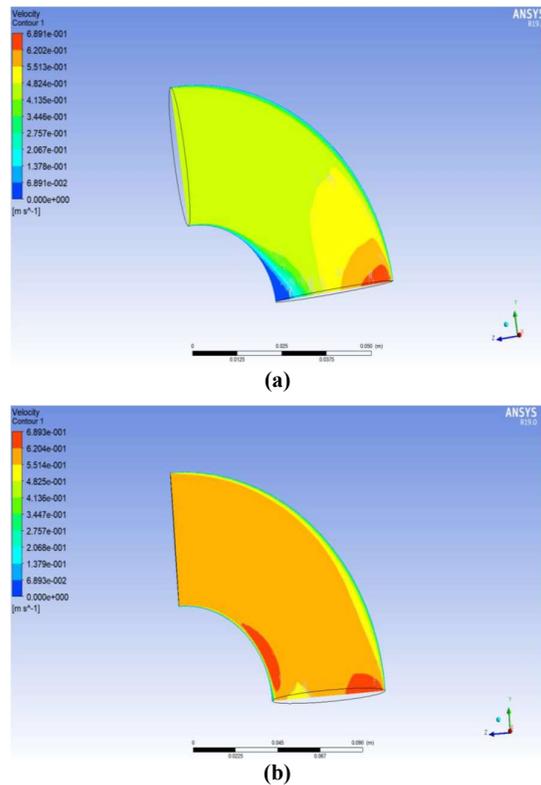
Data fluida yang digunakan yakni pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Data fluida.

Density	: 998,2 kg/m <sup>3</sup>
Cp (specific heat)	: 4.182 J/kg.k
Thermal conductivity	: 0,6 W/m.k
Viscosity	: 0,001003 kg/m.s

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan empiris dibandingkan dengan hasil pemodelan yang berupa kontur animasi dari fase dan distribusi partikel pada Gambar 2 berikut.



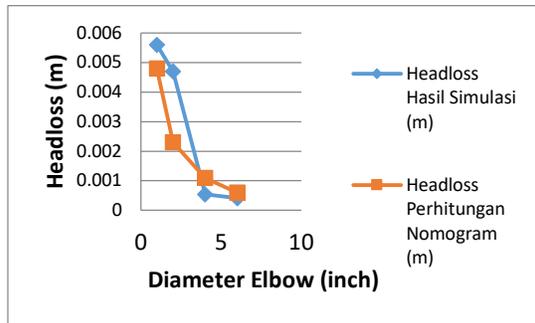
**Gambar 2.** Distribusi kecepatan aliran yang melewati elbow pada (a) 1 inch, (b) 2 inch, (c) 4 inch, dan (d) 6 inch.

Hasil simulasi menunjukkan distribusi kecepatan aliran berwarna yang melintasi *elbow*. Warna merah pada grafik menunjukkan kecepatan aliran tertinggi, yang kemudian turun sesuai dengan warnanya. Warna jingga dan merah mendominasi *elbow* dengan diameter 2 inch, menunjukkan *elbow* tersebut memiliki kecepatan aliran tinggi dibandingkan *elbow* lainnya. Tabel 4 berikut menunjukkan laju aliran rata-rata dan *head loss* yang melewati *elbow*.

**Tabel 4.** Head loss hasil simulasi dan hasil nomograf.

Diameter elbow (inch)	Head loss Hasil Simulasi (m)	Head loss Perhitungan Nomograf (m)
1	0,00560	0,0048
2	0,00470	0,0023
4	0,00054	0,0011
6	0,00041	0,0006

Bilangan Reynolds memberikan pengaruh yang signifikan pada aliran laminar, transisi, dan turbulen dalam fluida yang mengalir. Arah aliran yang tidak seragam menyebabkan tegangan geser melintasi fluida, sering disebut dengan turbulensi. Turbulensi yaitu gerakan fluida yang sangat rumit [8]. Adanya turbulensi dan gesekan antara fluida dan dinding pipa saat melewati belokan menjadi salah satu pemicu munculnya *head loss*.



Gambar 2. Grafik head loss vs elbow.

*Head loss* hasil simulasi menunjukkan hasil yang serupa dengan perhitungan nomogram yaitu semakin mengecil seiring dengan bertambahnya diameter. *Head loss* sebanding dengan kuadrat kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan aliran, maka *head loss* juga semakin besar. Fluida mengalir membentuk lapisan batas yang dipengaruhi oleh gaya gesek fluida dengan permukaan dinding pipa. Kecepatan fluida yang mengalir tidak seragam yaitu semakin besar ketika menjauhi pusat. Perbedaan kecepatan menimbulkan separasi aliran yang berefek pada *head loss* dan penurunan efisiensi [9]. Separasi adalah fenomena umum ketika fluida melebihi lengkung geometri [10]. Letak separasi dipengaruhi oleh *heat transfer*, di mana dinding yang lebih dingin akan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran, sehingga mengurangi separasi. Letak separasi tergantung bilangan Reynolds fluida yang mengalir.

Adanya *head loss* akan menyebabkan tumbukan partikel cair, gesekan yang lebih tinggi dari turbulensi, serta distribusi kecepatan yang tidak merata di seluruh penampang pipa. Akan ada osilasi atau pusaran air jika ada dinding pipa lapisan batas yang terpisah. Adanya osilasi ini akan mengganggu pola aliran laminar, sehingga menyebabkan lebih banyak turbulensi [11].

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian diperoleh kesimpulan bahwa nilai *head loss* sebanding dengan diameter *elbow*, semakin besar diameter *elbow*, *head loss* semakin kecil. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang serupa dengan perhitungan nomogram.

## Daftar Pustaka

- [1] F. Fadhlil and S. Madjid, 2017 "STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI BELOKAN PIPA (ELBOW) TERHADAP KECEPATAN ALIRAN FLUIDA DAN KERUGIAN TEKANAN," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 12, no. 01, pp. 1717–1721.
- [2] A. Saputra, H. P. Sauala, J. 2016 "Analisa Kehilangan Energi Pada Belokan Pipa Berangsur- Angsur Dan Belokan Pipa 45 Derajat Secara Langsung". Skripsi. Universitas Halu Oleo. Kendari.

- [3] Widodo, E., and R. Y. Pradhana. "Analysis of pipe diameter variation in axial pumps for reducing head loss." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 403. No. 1. IOP Publishing, 2018.
- [4] Putra. I.E., dkk., 2017, Analisa Rugi Aliran (*Head Losses*) pada Pipa PVC, Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan, Institut Teknologi Padang, Padang
- [5] Fathoni. W., & Novianto. S., 2018, Analisa Aliran Fluida (*Fully Develop Flow*) pada Pipa Circular dengan Menggunakan CFD Fluent", *Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol.IV*, No.2, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang
- [6] Zainudin., dkk., 2012, Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap *Head Losses* Aliran Pipa, *Dinamika Teknik Mesin*, Vol.2, No.2, Universitas Mataram, Mataram
- [7] Cahyana. Gede. H., 2014, *Nomograf*, Cara Cepat Hitung Debit. Majalah Air Minum, Dosen Teknik Lingkungan Universitas Kebangsaan, Bandung
- [8] Argyropoulos, Christos D., and N. C. Markatos. "Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows." *Applied Mathematical Modelling* 39.2 (2015): 693-732.
- [9] Chang, Paul K. *Separation of flow*. Elsevier, 2014.
- [10] Mahmud, Shohel, AKM Sadrul Islam, and Mohammad Arif Hasan Mamun. "Separation characteristics of fluid flow inside two parallel plates with wavy surface." *International journal of engineering science* 40.13 (2002): 1495-1509.)
- [11] Wasposito, Wasposito. "Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda." *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah* 8.1 (2017).