

Studi Eksperimental Tentang Head Loss Pada Aliran Fluida Yang Melalui Elbow 90°

Helmizar

Dosen Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

email: Simbutunib@yahoo.com

Abstrak

Faktor penyebab kehilangan energi pada suatu sistem pemipaan adalah sesuatu yang menarik dan penting untuk dikaji lebih dalam. Elbow 90° adalah suatu sambungan yang umum pada sistem pemipaan. Elbow 90° turut berkontribusi terhadap timbulnya head loss. Pada penelitian ini akan dicoba diidentifikasi pengaruh variasi kelengkungan (R/d) terhadap head loss.

Penelitian ini menggunakan model uji sambungan elbow 90° dengan variasi jari-jari kelengkungan sambungan elbow 90° terhadap diameter pipa (R/d) sebesar 4,199 dan 6,299. Debit aliran di variasikan dengan $Q_1=0,000312345986\text{m}^3/\text{s}$ dan $Q_2=0,000265776\text{m}^3/\text{s}$.

Hasil eksperimen menunjukkan R/d=6,299 memiliki head loss yang lebih besar dibandingkan R/d=4,199. Perbedaan mencolok pada distribusi harga koefisien tekanan antara jari-jari dalam dan jari-jari luar, dimana muncul peristiwa favorable pressure gradient pada jari-jari dalam. Munculnya peristiwa adverse pressure gradient pada jari-jari luar elbow disinyalir berkontribusi terhadap kehilangan energi/head loss pada elbow 90°.

Kata Kunci: elbow 90°, head loss, jari-jari kelengkungan, koefisien tekanan, Adverse pressure gradient, favorable pressure gradient

Abstract

Factors that cause energy loss in a piping system is something that is interesting and important to be studied more deeply. 90° Elbow is a common connection in piping systems. Elbow 90° contributes to the incidence of head loss. This research will try to identify the influence of curvature (R/d) to the head loss

This study uses test model 90° elbows connection with the variation of the radius of curvature of the connection elbow 90° to the pipe diameter (R / d) of 4.199 and 6.299. Flow rates are varied with $Q_1 = 0.000312345986\text{ m}^3/\text{s}$ and $Q_2 = 0.000265776\text{ m}^3/\text{s}$.

The experimental results show that the R/d = 6.299 have a greater head loss rather than the R/d = 4.199. Striking differences in the distribution of pressure coefficient between the radius of inner and outer radius. favorable pressure gradient phenomena occur on the inner radius. Events adverse pressure gradient at the outer radius of elbow allegedly contributing to the loss of energy / head loss at the elbow 90°.

Key words: elbow 90°, head loss, radius of curvature, pressure coefficient, adverse pressure gradient, favorable pressure gradient

1. PENDAHULUAN

Sistem pemipaan untuk distribusi fluida sangat lazim ditemukan adanya belokan (elbow 90°). Pemasangan elbow 90° tersebut menyebabkan munculnya rugi-rugi tekanan (head loss) dan ini umumnya sering disebut sebagai minor losses (Duc, 2007). Adanya kerugian tekanan akibat pemasangan elbow 90° menjadikan suatu fenomena yang menarik untuk dikaji atau diteliti. Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat merumuskan suatu teknik atau cara untuk mengatasi kerugian tekanan dalam mendistribusikan fluida pada suatu tempat. Salah satu hal yang dicurigai berpengaruh terhadap rugi-rugi tekanan (Head Loss) pada elbow 90° adalah perbandingan nilai antara jari-jari kelengkungan (R) terhadap diameter pipa (munson, 2005). Penelitian ini menggunakan model uji berupa elbow 90° dengan variasi jari-jari kelengkungan elbow 90° terhadap diameter pipa (R/d) sebesar 4,199 dan

6,299. Penelitian dilakukan dengan variasi R/d pada berbagai kapasitas aliran, kemudian akan dilihat pengaruhnya terhadap head loss yang terjadi, serta distribusi koefisien pressure (Cp) disekitar elbow 90° yang dilalui fluida.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir, yang terdiri dari zat cair dan gas. Ada fluida yang tak mengalir dan ada fluida yang mengalir. Ilmu yang mempelajari fluida yang tak mengalir disebut statika fluida dan ilmu yang mempelajari fluida yang mengalir disebut dinamika fluida.

2.2 Tekanan

Tegangan normal pada setiap bidang yang melalui unsur fluida yang diam mempunyai nilai unik yang disebut tekanan fluida (White, 1986). Tekanan

fluida dipancarkan dengan kekuatan yang sama kesemua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Salah satu alat ukur tekanan pada fluida adalah Manometer. Alat ukur tekanan ini melibatkan penggunaan kolom cairan dalam tabung (Munson, 2005).

Berdasarkan Gambar 1, maka didapatkan persamaan selisih tekanan sebagai berikut :

$$\Delta P = \rho_{fluida} g \Delta h \dots\dots\dots(1)$$

Dengan $P_2 > P_1$

Dimana : $\Delta P =$ Selisih tekanan ($kg/m.s^2$)

$\rho =$ massa jenis fluida manometer (kg/m^3)

$\Delta h =$ selisih ketinggian fluida manometer (m)

2.3 Aliran Fluida

Garis dalam fluida yang mengalir dimana garis singgung padanya pada sembarang titik menyatakan arah dari vektor kecepatan pada titik tersebut (Streamline). Stream tube merupakan ruang tubular yang dibatasi oleh permukaan yang terdiri dari garis arus. Ilustrasi streamline dan streamtube.

2.4 Koefisien Tekanan

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan (Cp) adalah selisih antara tekanan lokal dan tekanan freestream dibagi dengan tekanan dinamis.

$$Cp = \frac{P_c - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : $p_c =$ tekanan statik pada kontur ($kg/m.s^2$)

$p_\infty =$ tekanan statik pada freestream ($kg/m.s^2$)

$\frac{1}{2} \rho U^2 =$ tekanan dinamis aliran bebas ($kg/m.s^2$)

2.5 Minor losses

Kehilangan-kehilangan yang terjadi pada sistem pipa yang dikarenakan oleh *bend* (tekukan-tekukan), *elbow* (siku), *joints* (sambungan), *katup*, dan lain-lain disebut kehilangan-kehilangan *minor* (white: 1986). Untuk pipa dengan belokan (*elbow*), *minor losses* dapat di hitung dari persamaan rumus praktis adalah sebagai berikut:

$$hl = Cl \frac{V^2}{2 g} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : $hl =$ head loss akibat elbow (m)

$Cl =$ koefisien losses

$V =$ kecepatan rata-rata aliran (m/det)

$g =$ percepatan gravitasi (m/det^2)

2.6 Belokan Pipa 90°

Belokan pada pipa menghasilkan kerugian head yang lebih besar dari jika pipa lurus. Kerugian-kerugian tersebut disebabkan daerah-daerah aliran yang terpisah di dekat sisi dalam belokan (khususnya jika belokan tajam) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidak seimbangan gaya-gaya sentripetal akibat kelengkungan sumbu pipa (White, 1986). Efek-efek ini dan nilai Head loss berkaitan untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar melalui belokan 90° .

2.7 Persamaan Euler dalam Koordinat Streamline

Persamaan euler digunakan untuk menggambarkan sebuah aliran fluida dalam kondisi stabil sepanjang streamwise (s) dimana untuk mempermudah pembacaan persamaan euler ini dapat diperhatikan Gambar2.9 dengan yz merupakan koordinat arah aliran

Untuk aliran steady dimana R adalah radius lengkungan streamline. Oleh karena itu persamaan euler normalnya pada streamline dengan kondisi aliran steady didapatkan rumus :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan untuk aliran tunak pada bidang horizontal persamaan euler dapat dirumuskan :

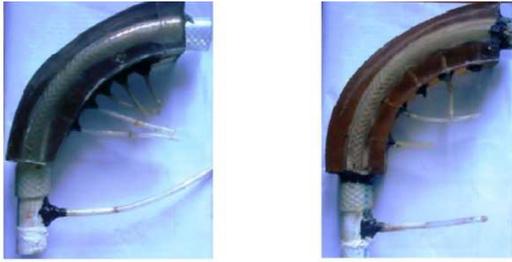
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan 5 menunjukkan bahwa tekanan meningkat ke arah keluar dari pusat kelengkungan dari arus. Di daerah-daerah dimana arus lurus jari-jari kelengkungan R adalah tak terbatas dan tidak ada variasi tekanan normal terhadap arus.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pembuatan model uji

Model uji dalam penelitian ini menggunakan elbow 90° dengan dua variasi kelengkungan. Elbow 90° yang digunakan adalah elbow dengan R/d=4,199 dan elbow dengan R/d=6,299 seperti pada gambar 5



Gambar 5. model uji elbow 90° dengan R/d=4,199 dan R/d=6,299

3.2 Pengujian model uji

Pengujian dilakukan dengan mengukur distribusi koefisien tekanan (Cp) di jari-jari dalam dan jari-jari luar. Kemudian juga dilakukan pengukuran head losses akibat aliran melalui elbow 90°. Koefisien tekanan (Cp) baik di jari-jari dalam ataupun di jari-jari luar mereferensi pada upstream dengan jarak 4d. sedangkan head losses diukur pada jarak 10d didaerah downstream.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

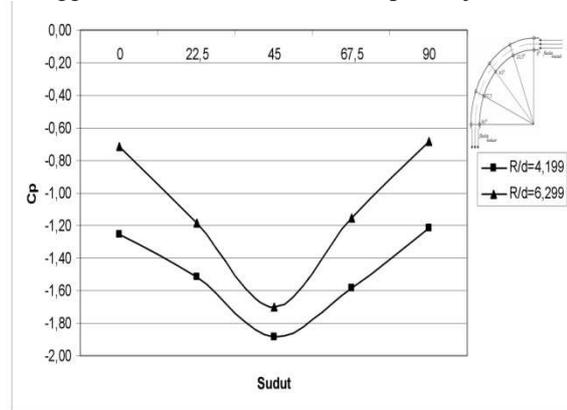
4.1 Distribusi Koefisien tekanan (Cp) pada sambungan elbow 90° untuk jari-jari dalam

Hasil penelitian untuk jari-jari dalam dimana pada gambar 7 dan 8 menunjukkan terjadi kecenderungan penurunan nilai koefisien tekanan (Cp). Penurunan terjadi mulai dari titik 0° dan mencapai puncak penurunan pada titik 45°. setelah melewati titik 45° terjadi kenaikan koefisien tekanan (Cp) dan mulai menuju nilai koefisien tekanan yang sama dengan titik 0°. Interpretasi dari gambar 7 dan 8 ini menjelaskan bahwa ada kenaikan kecepatan mulai dari titik 0° dan mencapai kecepatan maksimum pada titik 45° favourable pressure gradient. Kecepatan aliran mulai menuju normal pada saat melintasi titik 45° hingga 90°.

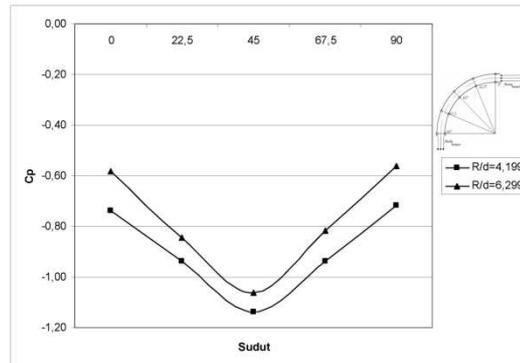
Perbandingan dimensi elbow jari-jari dalam yang diteliti pada pada gambar 7 dan 8 dengan harga debit aliran yang sama baik debit 0,000359863m³/s maupun 0,000265776m³/s. terlihat bahwa harga elbow dengan R/d=6,299 memiliki harga distribusi koefisien tekanan yang lebih besar dibandingkan elbow dengan R/d=4,199. Maka dapat diketahui bahwa semakin kecil harga R/d maka semakin kecil pula nilai distribusi tekanan yang terjadi pada kontur jari-jari dalam elbow dan sebaliknya.

Pengaruh variasi debit aliran pada tiap-tiap dimensi jari-jari dalam elbow terlihat pada gambar 7 dan 8 memiliki sifat dan karakteristik yang sama terhadap dimensi elbow yang diamati baik elbow dengan R/d= 4,199 dan R/d=6,299 dimana semakin besar debit aliran maka semakin kecil harga koefisien tekanan (Cp) yang terjadi pada kontur elbow dan sebaliknya semakin kecil debit aliran maka semakin besar pula harga koefisien tekanan (Cp) kontur elbow, dimana hal ini terjadi karena dengan

bertambah besarnya debit aliran maka kecepatan aliran fluida pun juga akan meningkat. Ini menyebabkan nilai tekanan dinamis upstream lebih besar dibanding aliran dengan debit yang lebih kecil, sehingga nilai koefisien tekanan (Cp) menjadi kecil.



Gambar 7. Grafik hubungan variasi sudut belokan sambungan elbow 90° terhadap distribusi koefisien tekanan untuk daerah jari-jari dalam pada Q₁=0,000359863m³/s



Gambar 8. Grafik hubungan variasi sudut belokan sambungan elbow 90° terhadap distribusi koefisien tekanan untuk daerah jari-jari dalam pada Q₂=0,000265776m³/s

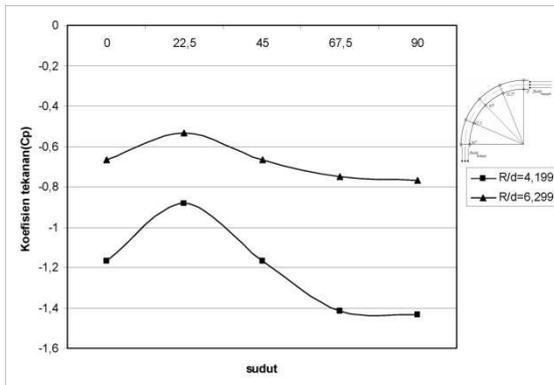
2.1 Distribusi Koefisien tekanan (Cp) pada sambungan elbow 90° untuk jari-jari luar

Hasil penelitian distribusi koefisien tekanan jari-jari luar yang terjadi pada aliran fluida air yang melalui sambungan elbow 90° baik dengan R/d =4,199 dan R/d =6,299 dengan variasi debit aliran Q1 dan Q2, dimana pada gambar 9 dan 10 terlihat jelas bahwa distribusi koefisien tekanan (Cp) meningkat. Peningkatan koefisien tekanan berangsur-angsur naik dari titik 0° dan puncak koefisien tekanan tertinggi berada pada titik 22,5°. Koefisien tekanan kembali menurun menuju harga koefisien tekanan yang normal setelah melewati titik 22,5° hingga menuju harga koefisien tekanan yang normal pada titik 90°. Perubahan-perubahan peningkatan tekanan yang significant seperti ini akibat efek adverse pressure gradient dan ini sesuai dengan persamaan euler pada persamaan 5 dimana

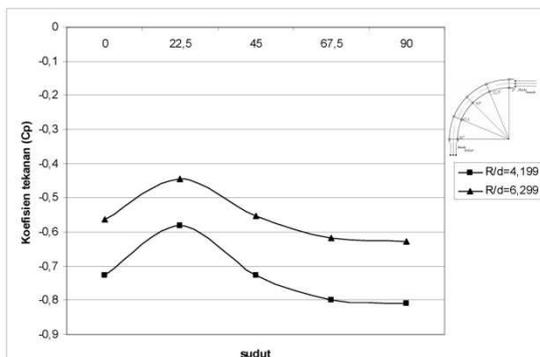
menunjukkan bahwa tekanan akan meningkat kearah keluar dari pusat kelengkungan.

Perbandingan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada jari-jari luar elbow dengan variasi jari-jari kelengkungan dan debit aliran terlihat pada Gambar 9 dan 10. pada harga debit aliran yang sama baik Q_1 maupun Q_2 terlihat bahwa harga koefisien tekanan pada jari-jari luar elbow dengan $R/d=6,299$ lebih besar dibandingkan elbow dengan $R/d=4,199$. Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa semakin kecil harga R/d maka semakin kecil pula nilai distribusi tekanan yang terjadi pada kontur jari-jari luar, dan sebaliknya, semakin besar harga R/d maka semakin besar pula harga distribusi koefisien tekanan yang terjadi pada kontur elbow jari-jari luar.

Pengaruh variasi debit aliran pada R/d tertentu terhadap koefisien tekanan terlihat pada gambar 9 dan 10. Pada gambar 9 dan 10 terlihat bahwa semakin besar debit aliran maka semakin kecil harga koefisien tekanan (C_p) yang terjadi pada kontur elbow. Sebaliknya semakin kecil debit aliran maka semakin besar harga koefisien tekanan (C_p) kontur elbow. Hal ini terjadi karena dengan bertambah besarnya debit aliran maka kecepatan aliran fluida pun juga akan meningkat. Ini menyebabkan nilai tekanan dinamis upstream lebih besar dibanding aliran dengan debit yang lebih kecil, sehingga nilai koefisien tekanan (C_p) menjadi kecil.



Gambar 9. Grafik hubungan variasi sudut belokan sambungan elbow 90° terhadap distribusi koefisien tekanan untuk daerah jari-jari luar pada $Q_1=0,000359863m^3/s$



Gambar 10. Grafik hubungan variasi sudut belokan sambungan elbow 90° terhadap distribusi koefisien

tekanan untuk daerah jari-jari luar pada $Q_2=0,000265776m^3/s$

4.3 Perbandingan Jari-jari dalam dan Jari-jari luar

Nilai koefisien tekanan pada tiap titik baik untuk jari-jari luar ataupun jari-jari dalam berbeda cukup signifikan. Adanya belokan pada sambungan elbow 90° menyebabkan perbedaan tekanan yang sangat besar antara jari-jari dalam dan jari-jari luar. Pada daerah jari-jari dalam terjadi penurunan koefisien tekanan yang bermula dari titik 0° dan kembali berangsur-angsur naik setelah melewati titik 45° menuju harga koefisien tekanan normal hingga titik 90° pada elbow. Sebaliknya pada daerah jari-jari luar, distribusi koefisien tekanan meningkat, bermula dari titik 0° hingga puncaknya berada pada titik $22,5^\circ$ dan berangsur-angsur turun menuju koefisien tekanan yang normal setelah melewati titik $22,5^\circ$.

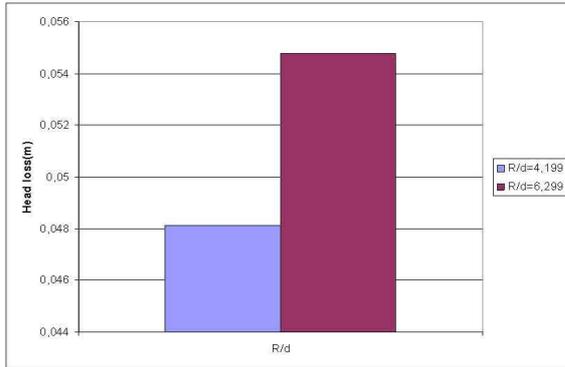
Distribusi koefisien tekanan pada daerah jari-jari luar mengindikasikan terjadi peristiwa adverse pressure gradient pada kontur elbow jari-jari luar sehingga menyebabkan stream tube pada fluida yang didaerah elbow mengalami (ekspansi) dan perlambatan laju aliran. Pengaruh gradient tekanan yang besar dapat menimbulkan peristiwa dimana fluida tidak menyentuh permukaan aliran yang sering disebut separasi dan secara umum separasi yang besar akan mengakibatkan munculnya vorteks atau pusaran aliran. Akibat dari pengaruh adverse pressure pada jari-jari luar elbow disinyalir penyebab kehilangan energi fluida (head loss).

Distribusi koefisien tekanan di jari-jari dalam elbow menunjukkan peristiwa favorable pressure gradient, sekaligus menunjukkan penyempitan streamtube, dimana streamline yang terjadi di daerah jari-jari dalam terdesak oleh melebarnya streamtube dibagian jari-jari luar, akibatnya kecepatan aliran fluida meningkat (favourable pressure gradient) pada jari-jari dalam elbow. Adanya peningkatan kecepatan didaerah jari-jari dalam terlihat dari menurunnya koefisien tekanan di daerah jari-jari dalam.

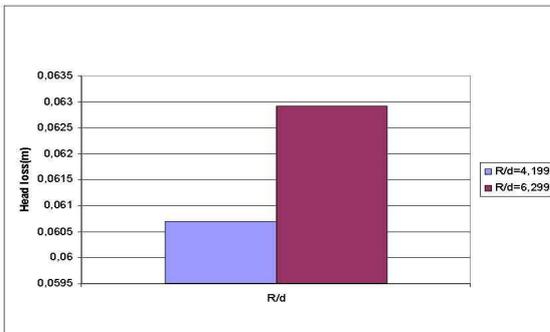
4.4 Head loss pada sambungan elbow 90°

Gambar 11 dan gambar 12 menunjukkan head loss yang terjadi pada sambungan pipa elbow 90° dengan $R/d=4,199$ lebih kecil daripada sambungan pipa elbow 90° dengan $R/d=6,299$. Hal ini dikarenakan pada sambungan elbow 90° dengan $R/d=6,299$ memiliki panjang daerah belokan yang lebih besar dari sambungan elbow 90° dengan $R/d=4,199$ sehingga terjadi proses ekspansi streamtube yang lebih intensif, dan memicu peristiwa adverse pressure gradient yang lebih hebat, seperti terlihat pada grafik distribusi koefisien tekanan. Adanya peristiwa adverse pressure gradient yang lebih intensif ini menyebabkan harga head loss meningkat. Adapun pengaruh variasi debit aliran pada aliran

fluida berdasarkan analisis data dan lebih jelasnya tampak pada gambar 11 dan gambar 12 bahwa semakin besar debit aliran maka harga head lossnya pun semakin besar.



Gambar 11. Histogram hubungan variasi kelengkungan jari-jari sambungan elbow 90° terhadap head loss yang terjadi dengan $Q_1=0,000359863\text{m}^3/\text{s}$



Gambar 12. Histogram hubungan variasi kelengkungan jari-jari sambungan elbow 90° terhadap head loss yang terjadi dengan $Q_2=0,000265776\text{m}^3/\text{s}$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan hasil penelitian sambungan elbow 90° dengan $R/d = 4,199$ dan sambungan elbow 90° dengan $R/d = 6,299$ dapat diambil kesimpulan bahwa

1. Distribusi koefisien tekanan yang terjadi pada sambungan elbow 90° dengan $R/d = 4,199$ lebih kecil dibandingkan sambungan elbow 90° dengan $R/d = 6,299$.
2. Adanya adverse pressure gradient pada jari-jari luar berkontribusi terhadap head loss yang terjadi dimana semakin besar harga C_p , maka semakin besar pula harga head loss.
3. Harga Head loss aliran fluida yang terjadi pada sambungan elbow 90° dengan $R/d = 4,199$ lebih kecil dibandingkan sambungan elbow 90° dengan $R/d = 6,299$.
4. Semakin besar debit aliran maka harga distribusi koefisien tekanan semakin kecil, begitu pula harga head loss.

DAFTAR PUSTAKA

1. Munson, Young, Okiishi, 2005, *Mekanika fluida*, Erlangga, Jakarta
2. White, Frank. M., 1986, *Fluid Mechanics*, Texas Tech University
3. Le Duc, 2007, *Fachgebiet Hydromechanik*, TU München
4. Indra, Ridwan, Supriyanto, 2002, *Analisa Aliran Vorteks Pada Pembesaran saluran Pipa Dengan Teknologi Computational Fluid Dynamics (CFD)*, Jakarta