

## PENGARUH JUMLAH SUDU PENGARAH JENIS *AIRFOIL* TERHADAP KERUGIAN *HEAD* PADA BELOKAN PIPA

**Slamet Wahyudi, Fikrul Akbar Alamsyah, Djoko Sutikno dan Yunus Hadi Kusuma**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: slamet\_w72@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Pada belokan pipa aliran fluida mengalami kerugian *head*. Kerugian *head* pada belokan pipa ditandai dengan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama. Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa terjadi separasi aliran dan aliran sekunder. Separasi aliran dan aliran sekunder tersebut dapat memperbesar  $\Delta p$  (penurunan tekanan) pada belokan. Salah satu cara untuk mengurangi separasi aliran dan aliran sekunder tersebut adalah dengan memasang sudu pengarah pada belokan pipa. Salah satu jenis sudu pengarah adalah jenis *airfoil*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu pengarah jenis *airfoil* terhadap kerugian *head* pada belokan pipa.

Penelitian yang dilakukan dengan metode penelitian eksperimental (*experimental research*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah debit aliran fluida dengan variasi 1000 - 2000 liter/jam. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* pada belokan pipa. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah Belokan tanpa sudu pengarah, belokan dengan satu buah sudu pengarah, belokan dengan dua buah sudu pengarah, dan belokan dengan tiga buah sudu pengarah.

Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa jumlah pemasangan sudu pengarah jenis *airfoil* akan mempengaruhi kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa. Pada bilangan *Reynold* yang tetap, semakin banyak jumlah sudu pengarah yang terpasang pada belokan pipa maka kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* akan semakin kecil. Untuk jumlah sudu pengarah yang sama, semakin besar bilangan *Reynold* maka kerugian *head* akan semakin besar tetapi koefisien kerugian *head* akan semakin kecil. Kerugian *head* minimal pada belokan pipa adalah 0.0026 yang terjadi pada bilangan *Reynold* 4934.96 dengan jumlah sudu pengarah tiga buah. Koefisien kerugian *head* minimal pada belokan pipa adalah 1,408 yang terjadi pada bilangan *Reynold* 4934.96 dengan jumlah sudu pengarah tiga buah.

**Kata Kunci** : belokan pipa, kerugian *head*, jumlah sudu pengarah jenis *airfoil*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Pipa pada suatu sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang sangat penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawai, dan pengolahan limbah. Fungsi utama pipa tersebut adalah mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain. Namun dalam mengalirkan fluida dalam instalasi pipa tersebut terdapat kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) akibat adanya *major losses* pada pipa lurus dan *minor losses* pada belokan, katup, ataupun pada sambungan pipa.

Pada belokan pipa terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama. Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa terjadi separasi aliran dan aliran sekunder. Separasi aliran dan aliran sekunder tersebut dapat memperbesar  $\Delta p$  (penurunan tekanan) pada belokan. Semakin besarnya  $\Delta p$  atau meningkatnya *pressure drop* tersebut maka energi yang dimiliki oleh fluida akan semakin turun dan hal ini dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut meningkat, sehingga daya pemompaan juga meningkat.

Salah satu cara untuk mengurangi separasi aliran dan aliran sekunder tersebut adalah dengan memasang sudu pengarah pada belokan pipa. Sudu pengarah ini berfungsi sebagai pengarah aliran pada saat berbelok, yang mana diharapkan dapat mempersempit daerah separasi dan dapat membentuk *twin eddy* atau pusaran kembar yang berbentuk lingkaran penuh. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, penggunaan sudu pengarah jenis *airfoil* dapat memberikan efek untuk mengurangi kerugian energi fluida yang lebih baik jika dibandingkan jenis pelat biasa. Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut bagaimana pengaruh jumlah sudu pengarah jenis *airfoil* terhadap kerugian *head* pada belokan pipa.

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jumlah sudu pengarah jenis *airfoil* terhadap kerugian *head* pada belokan pipa.

### Persamaan Bernoulli untuk Fluida Real

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{2.g} + \sum h$$

(Nekrasov, 1960: 59)

Pada persamaan ini di tampilkan *head loss* ( $\sum h$ ) karena pada fluida real terjadi kehilangan energi dan juga  $\alpha$  yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam.

### Head Losses (Kerugian Head)

*Head losses* adalah energi yang hilang pada fluida ketika fluida mengalir. Besarnya *head losses* tergantung pada bentuk, ukuran dan kekasaran saluran, kecepatan dan viskositas fluida dan tidak tergantung pada tekanan absolut. *Head losses* dibedakan menjadi dua macam, *major losses* dan *minor losses*.

### Minor Losses Pada Belokan

Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi separasi aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan ( $\delta$ ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran. Belokan halus atau *circular* cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran bila dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku.

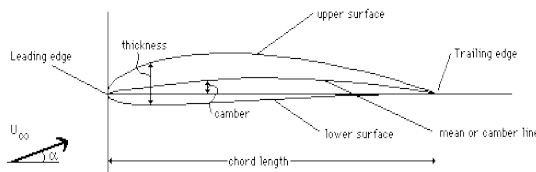
*Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida.

Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Karena kecepatan fluida yang tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, maka gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas.

Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.

### NACA Airfoil

NACA airfoil adalah sebuah standard bentuk sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Bentuk dari NACA airfoil dideskripsikan oleh angka-angka dibelakang NACA. Profil geometri airfoil terlihat pada gambar 1.



Gambar 1 Profil Geometri Airfoil  
Sumber : <http://www.dekstop.aero>

### NACA Seri 4 Digit

Definisi bentuk dari NACA 4 digit adalah sebagai berikut:

1. Angka pertama mendeskripsikan *camber* sebagai prosentase *chord*.
2. Angka kedua mendeskripsikan jarak *camber* dari *leading edge* dalam sepuluh persen *chord*.
3. Dua angka terakhir mendeskripsikan ketebalan maksimum *airfoil* sebagai prosentase *chord*.

Sebagai contoh, NACA 2412 memiliki *camber* 2% yang terletak 40% dari *leading edge* dengan ketebalan maksimum 12% *chord*.

### Penggunaan Airfoil Sebagai Sudu Pengarah

Untuk mengurangi kerugian-kerugian energi aliran fluida saat melewati belokan pipa, dapat digunakan sudu pengarah sebagai salah satu alternatif. Penggunaan sudu pengarah pada belokan sendiri ditengarai mampu mengurangi efek-efek kerugian yang biasa muncul pada belokan pipa seperti separasi aliran dan aliran sekunder.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, penggunaan sudu pengarah jenis *airfoil* dapat memberikan efek untuk mengurangi kerugian energi fluida yang lebih baik jika dibandingkan jenis pelat biasa. Dengan penambahan jumlah sudu pengarah

jenis *airfoil* ini, maka diharapkan dapat memaksimalkan kelebihan dalam mengatasi efek-efek kerugian yang terjadi pada belokan pipa.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Metode Penelitian

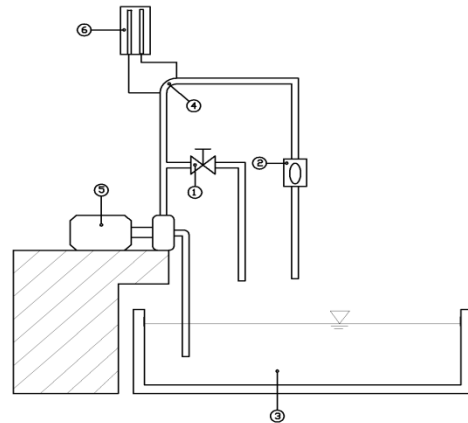
Penelitian yang dilakukan menggunakan metode penelitian eksperimental

### Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dalam penelitian adalah debit aliran fluida dengan variasi 1000- 2000 liter/jam.
2. Variable terikat pada penelitian ini adalah kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* pada belokan pipa.
3. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah Belokan tanpa sudu pengarah, belokan dengan satu buah sudu pengarah, belokan dengan dua buah sudu pengarah, dan belokan dengan tiga buah sudu pengarah.

### Alat-alat yang Digunakan

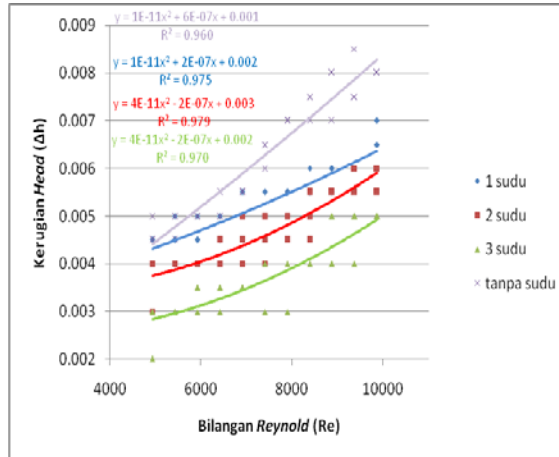
1. Pipa PVC
2. Sudu Pengarah
3. Pompa
4. Bak Penampung
5. Rotameter
6. Katup ( *valve* )
7. Manometer



Gambar 2 Skema Instalasi Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hubungan Bilangan *Reynold* (*Re*) terhadap Kerugian *Head* pada Belokan Pipa



Gambar 3 Grafik hubungan bilangan *Reynold* terhadap kerugian *head* pada belokan pipa

Hubungan antara bilangan *Reynold* terhadap kerugian *head* pada suatu aliran fluida yang melewati belokan pipa tanpa pemasangan sudu pengarah, serta dengan pemasangan sudu pengarah dengan jumlah masing-masing satu buah, dua buah, dan tiga buah sudu pengarah ditunjukkan pada gambar 3.

Dari gambar 3 juga dapat diketahui bahwa bilangan *Reynold* berpengaruh terhadap kerugian *head*. Untuk jumlah sudu pengarah yang tetap, kerugian *head* akan terus meningkat secara parabolik seiring dengan bertambahnya bilangan *Reynold*. Untuk belokan tanpa sudu pengarah, pada bilangan *Reynold* 4934.96 memiliki kerugian *head* sebesar 0.004667 mH<sub>2</sub>O.

Pada saat fluida melewati belokan akan terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*). *Pressure drop* ini didapatkan dari selisih antara tekanan fluida sebelum masuk belokan dengan tekanan fluida setelah keluar belokan ( $p_{in} - p_{out}$ ). Semakin besar kecepatan fluida maka *pressure drop* yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan fluida maka gaya sentrifugal yang dialami oleh partikel fluida saat melewati belokan akan meningkat. Gaya sentrifugal sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Dengan meningkatnya gaya sentrifugal tersebut maka aliran sekunder yang terjadi pada belokan pun akan meningkat. Hal ini disebabkan semakin besar gaya sentrifugal maka akan semakin terbentuk *twin eddy* yang berprofil elips. Intensitas *losses* sebanding dengan momen inersia dari penampang *twin eddy*. Semakin bulat profil *twin eddy* yang terbentuk maka

momen inersianya akan semakin kecil sehingga *losses* yang terjadi akan semakin kecil, dan sebaliknya apabila semakin elips profil *twin eddy* yang terbentuk maka momen inersianya akan semakin besar sehingga menyebabkan *losses* yang terjadi akan semakin besar pula.

Sehingga dengan meningkatnya kecepatan fluida maka bilangan *reynold* juga akan semakin meningkat, dan intensitas *losses* akibat aliran sekunder yang terjadi akan semakin besar pula.

Peningkatan aliran sekunder yang terjadi akan mempengaruhi *head total* fluida. Penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head static* fluida, Apabila mengacu pada hukum kontinuitas untuk fluida *incompressible*  $A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$ , diasumsikan bahwa *head velocity* fluida adalah konstan karena kecepatan fluida dianggap konstan sepanjang *stream tube* dan *head elevasi* fluida adalah sama pada bagian hulu dan hilirnya, sehingga persamaan *head Static* adalah

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

bahwa hubungan antara *head* dan tekanan adalah sebanding. Dengan demikian, beda tekanan maupun kerugian *head* yang diperoleh melalui pengukuran bagian hulu dan hilir belokan juga memiliki kecenderungan yang sama sehingga yang mempengaruhi *head total* hanya *head static* fluida.

Kemudian pada bilangan *Reynold* yang sama, aliran fluida yang melewati belokan tanpa sudu pengarah memiliki kerugian *head* yang lebih tinggi dibandingkan dengan belokan dengan pemasangan sudu pengarah pada hilir belokan. Selain itu pada

belokan dengan pemasangan sudu pengarah, semakin banyak jumlah sudu pengarah yang dipasang maka kerugian *head*-nya akan semakin menurun. Pada bilangan *Reynold* 4934.96 kerugian *head* pada belokan tanpa sudu pengarah adalah 0.004667 mH<sub>2</sub>O dan pada belokan dengan pemasangan sudu pengarah dengan jumlah masing-masing satu buah sudu pengarah, dua buah sudu pengarah, dan tiga buah sudu pengarah, memiliki kerugian *head* secara berurutan adalah 0.004167 mH<sub>2</sub>O, 0.003667 mH<sub>2</sub>O, dan 0.002667 mH<sub>2</sub>O. Hal ini disebabkan oleh pemasangan sudu pengarah pada belokan akan mengurangi intensitas *losses* yang terjadi dan juga mengurangi peluang terbentuknya separasi aliran dan *twin eddy* yang memiliki profil elips akibat gaya sentrifugal juga semakin besar. Terjadinya pengurangan intensitas *losses* tersebut disebabkan karena pada saat fluida melewati belokan dengan sudu pengarah, akan terjadi perubahan penampang aliran fluida karena terbagi oleh sudu pengarah itu sendiri. Salah satu faktor yang mempengaruhi *head losses* yaitu bentuk penampang dari aliran yang sebelumnya berbentuk lingkaran menjadi bentuk penampang yang mendekati bentuk persegi panjang.

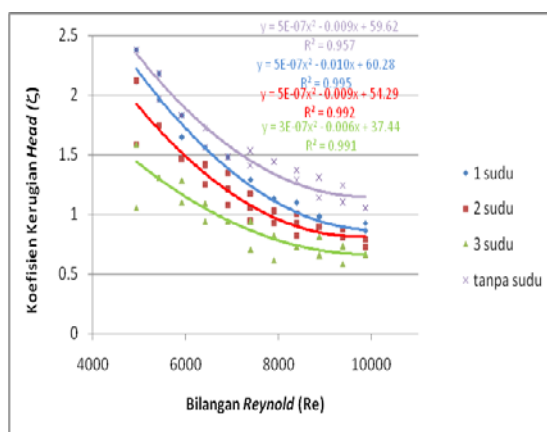
Untuk belokan dengan pemasangan sudu pengarah, pada kecepatan aliran yang sama,  $\Delta h$  minimum diperoleh dengan pemasangan tiga buah sudu pengarah dibandingkan dengan pemasangan dua buah atau satu buah sudu pengarah. Hal ini disebabkan bentuk penampang aliran berpengaruh pada kerugian *head* suatu aliran ketika melewati belokan pipa. Jika dihubungkan dengan rumusan *Abramovich*  $\zeta_{bend} = 0,73.a.b.c$ ; apabila penampang lintang

belokan berbentuk persegi panjang dan memiliki perbandingan sisi-sisinya  $\frac{e}{d} = 2,5$

yang dapat diartikan pula bahwa *side ratio* (*c*) semakin mendekati 2,5 yang merupakan nilai optimum *side ratio* untuk menghasilkan koefisien kerugian *head* belokan ( $\zeta_{bend}$ ) minimum. Semakin kecil koefisien kerugian *head* belokan ( $\zeta_{bend}$ ) semakin kecil pula *head losses* (*H*);  $H = \zeta_{bend} \frac{V^2}{2g}$ . Hal yang

membedakan antara sudu pengarah dengan jumlah tiga buah dengan sudu pengarah dengan jumlah dua buah ataupun satu buah adalah pada sudu pengarah dengan jumlah tiga buah memiliki penampang-penampang aliran yang lebih sempit yang ditengarai memiliki perbandingan sisi (*side ratio*) mendekati 2,5. Selain itu pula dengan pemasangan sudu pengarah sampai dengan tiga buah sudu pengarah maka akan semakin memudahkan aliran untuk berbelok secara bersamaan antara aliran bagian pipa yang mempunyai radius kecil dan yang mempunyai radius besar, sehingga daerah separasi yang timbul setelah keluaran dinding belokan pipa bagian yang radius kecil semakin berkurang, dimana *vortex* yang terbentuk pada daerah separasi juga akan semakin berkurang. Dengan demikian sudu pengarah dengan jumlah tiga buah lebih efektif dalam mengurangi kerugian *head* dibandingkan sudu pengarah dengan jumlah dua buah ataupun satu buah.

**Hubungan Bilangan *Reynold* (*Re*) terhadap Koefisien Kerugian *head* ( $\zeta$ ) pada Belokan Pipa**



Gambar 4 Grafik hubungan bilangan *Reynold* terhadap koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) pada belokan

Hubungan antara bilangan *Reynold* terhadap koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) pada suatu fluida yang melewati belokan pipa tanpa pemasangan sudu pengarah, serta dengan pemasangan sudu pengarah dengan jumlah masing-masing satu buah sudu pengarah, dua buah sudu pengarah, dan tiga buah sudu pengarah ditunjukkan pada gambar 4

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa bilangan *Reynold* mempengaruhi koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) aliran fluida pada belokan pipa. Untuk jumlah sudu pengarah yang tetap, semakin tinggi bilangan *Reynold* maka koefisien kerugian *head* semakin rendah. Pada belokan tanpa sudu pengarah, untuk bilangan *Reynold* 4934.96 koefisien kerugian *head* yang terjadi adalah 2,465301. Untuk bilangan *Reynold* 5428.45 dan 5921.95 koefisien kerugian *head*-nya adalah 2,110205 dan 1,834301. Kemudian bilangan *Reynold* akan terus menurun secara parabolik seiring dengan bertambahnya bilangan *Reynold* sampai bilangan *Reynold* maksimal yaitu sebesar 9869.91. Hal tersebut diatas terjadi karena dengan semakin besar kecepatan fluida maka koefisien kerugian *head* akan semakin kecil.

Dari grafik juga terlihat bahwa pada dengan bilangan *Reynold* yang sama maka koefisien kerugian *head* yang paling besar adalah pada belokan tanpa sudu pengarah dengan koefisien kerugian *head* 2,465301 pada bilangan *Reynold* 4934.96 dan kemudian diikuti oleh belokan dengan pemasangan sudu pengarah dengan jumlah satu buah sudu pengarah, dua buah sudu pengarah, dan tiga buah sudu pengarah dengan kerugian *head*-nya masing-masing 2,201162, 1,937022, dan 1,408744 pada bilangan *Reynold* yang sama.

Hal ini disebabkan belokan dengan pemasangan sudu pengarah memiliki beda tekanannya ( $\Delta p$ ) yang lebih kecil dibandingkan belokan tanpa pemasangan sudu pengarah dan semakin banyak jumlah sudu pengarah maka beda tekanan ( $\Delta p$ ) semakin kecil seperti yang terlihat pada pembahasan gambar 4.1. Selain itu juga dapat dilihat pada persamaan kerugian *head* diatas bahwa nilai koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) berbanding lurus dengan beda tekanan ( $\Delta p$ ).

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa jumlah pemasangan sudu pengarah jenis *airfoil* akan mempengaruhi kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

- Sudu pengarah jenis *airfoil* yang berjumlah tiga buah memiliki kemampuan untuk mengurangi kerugian *head* jika dibandingkan dengan sudu pengarah jenis *airfoil* yang berjumlah dua buah ataupun satu buah.
- Semakin besar debit yang ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *Reynold*, maka kerugian *head* akan semakin besar, sedangkan koefisien kerugian *head* yang terjadi akan semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, Ira H. and Doenhoff Albert E.; 1959: *Theory of Wing Sections*; Dover Publication Inc, New York.
- Franzini, Joseph and Finnemor John; 1997: *Fluid Mechanics with Engineering Applications*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Fox, Robert and McDonald, Alan T.; 1994: *Introduction to Fluid Mechanics*; John Wiley & Sons Inc, Toronto.
- Munson, Bruce R. and Young, Donald F.; 2005: *Mekanika Fluida*; Erlangga, Jakarta.
- Nekrasov, Boris; 1960: *Hydraulics For Aeronautical Engineers*; Peace Publishers, Moscow.
- Streeter, Victor L. and Wylie, E. Benjamin; 1996: *Mekanika Fluida*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- White, Fank M; 1994: *Fluid Mechanics*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- <http://www.dekstop.aero>