

ANALISA NUMERIK PROFIL KECEPATAN UDARA PADA *SQUARE DUCT BEND 90-DERAJAT*

Luthfi Hakim, Erna Tri Asmorowati
Universitas Islam Majapahit, Mojokerto
luth@unim.ac.id

ABSTRAK

Profil kecepatan udara pada square duct bend 90-derajat akan dimodelkan secara matematis. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan taksiran dari nilai maksimum profil kecepatan udara pada square duct bend 90-derajat yang sudah terpengaruh oleh pemasangan double damper 30-derajat. Persamaan *Navier-stokes* pada kondisi *unsteady incompressible* diterapkan pada kasus ini, kemudian diselesaikan menggunakan metode elemen hingga dan algoritma SIMPLE. Penyelesaian secara numerik dilakukan untuk menentukan profil kecepatan aliran udara pada $x/D_h = 1$ (tepat sebelum double damper dipasang), kemudian digunakan metode regresi dalam menentukan model matematika dari profil kecepatannya. Dari persamaan profil kecepatan pada $x/D_h = 1$, diperoleh nilai maksim $U/U_{Ref} = 1.146$ dan minimumnya $U/U_{Ref} = 0.342$

Kata Kunci: profil, kecepatan, square duct.

ABSTRACT

The air velocity profile on a 90-degree square duct bend will be mathematically modeled. Modeling is carried out to get an estimate of the maximum air velocity profile value at a 90-degree square duct bend that has been affected by the installation of a 30-degree double damper. The Navier-Stokes equation in the incompressible unsteady condition is applied in this case, then solved using the finite element method and the SIMPLE algorithm. Numerical settlement is done to determine the air flow velocity profile at $x/D_h = 1$ (just before the double damper is installed), then the regression method is used to determine the mathematical model of the velocity profile. From the velocity profile equation at $x/D_h = 1$, the maximum value of $U/U_{Ref} = 1.146$ is obtained and the minimum $U/U_{Ref} = 0.342$

Keywords: profile, velocity, square duct.

PENDAHULUAN

Sistem saluran udara berperan mensirkulasikan udara ke tempat tujuan dengan meminimalkan kehilangan energi. Pressure drop dan pressure loss terjadi pada saat udara melewati sebuah saluran merupakan salah satu bentuk kehilangan energi. Hal tersebut dikarenakan gaya gesek antara partikel fluida dengan lapisan dalam pada dinding saluran, maupun akibat perubahan penampang saluran yang menyebabkan terjadinya aliran sekunder (Sutardi, Wawan, Affan, Iswati, & Sutrisno, 2010). Aliran sekunder terjadi akibat perbedaan distribusi tekanan pada sisi *inner* dan *outer wall* sedangkan separasi terjadi akibat perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran tersebut sehingga aliran

tidak mampu melawan *adverse pressure gradient*. Penampang pada saluran udara, sambungan (*sudden contraction, sudden enlargement, tee, cross, elbow 90°*, dan *sebagainya*), volume damper, *air handling unit* (AHU), dan lain-lain, adalah komponen penting instalasi saluran udara. Komponen tersebut digunakan untuk menyesuaikan konstruksi dan bentuk bangunan. Oleh karena itu, diperlukan desain saluran udara yang efisien agar kehilangan energi pada proses sirkulasi udara ke tempat tujuan dapat dikurangi.

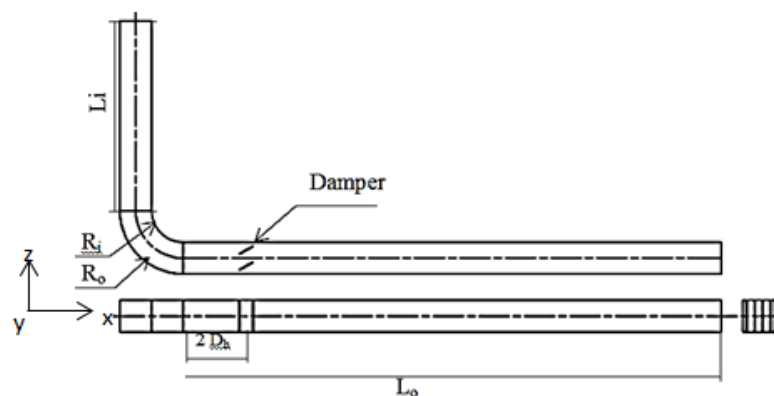
Komponen sistem saluran udara memberikan kontribusi terhadap *Pressure drop* yang terjadi. Misalnya, *elbow 90°* memiliki nilai *Pressure drop* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan udara yang tersirkulasi pada saluran lurus. Penambahan *guide vane* pada saluran *elbow 90°* ($R=1,87D_h$) menjadi salah satu metode yang dilakukan untuk mengurangi *Pressure drop* yang terjadi (Sutardi et al., 2010). Selain itu, aliran sekunder pada saluran udara berpenampang silinder dan *elbow* (Danbon & Sollic, 2002) (Dutta & Nandi, 2015) (Inthavong, 2019) persegi panjang dan *elbow* (Sutardi et al., 2010) (Didwania, Singh, Malik, & Sisodiya, 2014) (Vidal, Vinuesa, Schlatter, & Nagib, 2018), persegi dan *elbow* (Rup & Sarna, 2011) (Rieschel & Brandt, 2016) (Musa & Mukhtar, 2014) (Sarna, 2011) menjadi menarik untuk diteliti. Secara umum aliran sekunder pada pipa *elbow* dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti rasio kelengkungan, diameter pipa, jari-jari kelengkungan, bilangan Reynolds, dan kondisi aliran masuk pada saluran misalnya turbulen atau laminar. Sehingga, pada saluran udara memiliki berbagai bentuk profil kecepatan yang menarik untuk diteliti baik secara eksperimen maupun secara numerik. Selain itu, peneliti lain telah mengamati fenomena aliran yang melewati katup. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Jeon, Yoon, & Shin, 2010), menunjukkan bahwa pada saat bukaan katup 50%, aliran pada *double butterfly valve* memiliki fenomena aliran berupa *recirculating eddies* yang lebih kompleks. Dari profil kecepatan yang di hasilkan melalui penelitian yang dilakukan oleh (Danbon & Sollic, 2002) menunjukkan bahwa pada pipa lurus yang terdapat *valve* aliran akan mencapai *fully developed* lebih awal di bandingkan dengan pipa lurus yang di tambahkan *elbow*, hal ini dikarenakan pada *elbow* sudah terjadi aliran sekunder sebelum melalui *valve*.

Model matematika dari profil kecepatan telah digunakan untuk menggambarkan profil kecepatan pada saluran terbuka (Kra & Merkley, 2004), menentukan debit aliran

yang melintasi saluran terbuka (Gandhi, Verma, & Abraham, 2016). Program Matlab telah dikembangkan untuk memperhitungkan parameter-parameter yang berpengaruh sehingga didapatkan profil kecepatan pada saluran terbuka berbentuk persegi panjang. Kerangka matematika digunakan untuk mensimulasikan aliran turbulen, pemodelan melibatkan solusi numerik persamaan diferensial parsial dan menggunakan metodologi LES untuk memodelkan aliran turbulen pada chanel terbuka (Vedovoto, Serfaty, Da, & Neto, 2015). Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada pengamatan terhadap fenomena aliran yang melintasi saluran udara berbentuk *square duct* 90° yang telah ditambahkan *double damper*. Pemodelan matematika dari profil kecepatan pada Square Duct Bend 90-derajat dan double damper 30-derajat counter clockwise akan dimodelkan. Penyelesaian secara numerik dilakukan untuk menentukan profil kecepatan kemudian digunakan metode Gauss-Jordan dalam menentukan model matematika dari profil kecepatannya.

METODE

Metode penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan bantuan *software* CFD komersial dalam menentukan model matematika profil kecepatan udara pada saluran udara berbentuk square duct bend 90-derajat. Ukuran dan geometri saluran udara yang digunakan seperti yang terlihat pada gambar 1. upstream straight channel $L_i = 750$ mm, downstream straight channel $L_o = 2125$ mm, Elbow inner radius $R_i = 125$ mm, Elbow Outer radius $R_o = 250$ mm.



Gambar 1. Geometri saluran udara *square duct bend* 90-derajat

Persamaan Reynolds averaged Navier Stokes (RANS) akan diselesaikan secara numerik menggunakan metode beda hingga dan menggunakan algoritma SIMPLE.

Algoritma ini efektif digunakan dalam menyelesaikan persamaan computational Fluid Dynamics yang kompleks, (Matyka, 2004). Untuk menyelesaikan persamaan tersebut diperlukan pemilihan model turbulensi (Wagner, n.d.). Pemilihan model turbulensi yang tepat sangat dibutuhkan dalam menyelesaikan permasalahan aliran turbulen 3D karena membutuhkan pemodelan yang akurat, (Dutta & Nandi, 2015)

Persamaan yang digunakan untuk aliran fluida *incompressible*, konservasi massa dan momentum adalah sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (2)$$

Model turbulensi $k - \varepsilon$ dipilih dalam penelitian ini sebagai model turbulensi antar aliran single phase flow pada square duct elbow (Homicz, 2004) (Rahimzadeh, Maghsoodi, Sarkardeh, & Tavakkol, 2012), Transport equation for $k - \varepsilon$.

$$\frac{\partial (pk)}{\partial t} + \frac{\partial (pk u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial (p\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (p\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

Dimana u_i mewakili komponen kecepatan searah aliran, E_{ij} mewakili komponen laju deformasi, μ_t mewakili eddy viscosity. Persamaan (3) dan (4) juga memiliki besaran yang nilainya konstan, yaitu : $C_\mu = 0.009$ $\sigma_k = 1.00$ $\sigma_\varepsilon = 1.30$ $C_{1\varepsilon} = 1.44$ $C_{2\varepsilon} = 1.92$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh berupa Profil kecepatan, kemudian di analisa secara numerik menggunakan persamaan regresi dalam menentukan model matematika untuk menentukan persamaan profil aliran pada *square duct elbow* 90-derajat. Dengan bantuan CFD komersial akan ditampilkan data *Validation* dengan cara membandingkan dengan peneliti terdahulu. Data tersebut sesuai tabel 1 sebagai berikut. Dari hasil validasi tersebut

menunjukkan bahwa model yang dihasilkan dan metode yang digunakan saat ini mendekati hasil yang telah di publikasikan oleh (Rup & Sarna, 2011) (Sudo, Sumida, & Hibara, 2001) sehingga model dan metode ini akan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Tabel 1. Perbandingan profil kecepatan

	Present Study	Num. R. Sarna	Exp. K. Sudo
U/U_{Ref}	0.705	0.777	0.906

Data numerik profil kecepatan pada posisi $x/D_h = 1$ yang telah diperoleh kemudian diolah sesuai dengan persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} N & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 y_i \\ \sum x_i^4 y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

Utuk memperoleh model matematika dari profil kecepatannya dilakukan dengan cara mencari persamaan regresi. Asumsi persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$y = a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (6)$$

sehingga mempunyai empat persamaan dasar yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} -5.4585 &= 59.0000a_0 + 49.0381a_1 + 45.2858a_2 + 45.1163a_3 + 47.1884a_4 \\ -0.4802 &= 49.0381a_0 + 45.2858a_1 + 45.1163a_2 + 47.1884a_3 + 50.8167a_4 \\ 2.3779 &= 45.2858a_0 + 45.1163a_1 + 47.1884a_2 + 50.8167a_3 + 55.6636a_4 \\ 4.1534 &= 45.1163a_0 + 47.1884a_1 + 50.8167a_2 + 55.6636a_3 + 61.5829a_4 \\ 5.3792 &= 47.1884a_0 + 50.8167a_1 + 55.6636a_2 + 61.5829a_3 + 68.5396a_4 \end{aligned} \quad (7)$$

Dengan menggunakan solusi persamaan regresi polinom, maka solusi persamaan tersebut adalah $a_0 = 0.5287$; $a_1 = -4.2987$; $a_2 = 1.8710$; $a_3 = 8.9056$; dan $a_4 = -6.6196$. Sehingga dapat dituliskan model matematika dari persamaan profil kecepatan pada posisi $x/D_h = 1$ adalah

$$y = -6.6196x^4 + 8.9056x^3 + 1.8710x^2 - 4.2987x + 0.5287 \quad (8)$$

Model matematika tersebut merupakan model pertama pada sebuah profil kecepatan sebuah saluran udara.

SIMPULAN DAN SARAN

Profil kecepatan udara pada *square duct bend* 90-derajat telah dimodelkan secara matematis dengan menggunakan bantuan *software* CFD komersial. Hasil yang diperoleh adalah model matematika profil kecepatan pada $x/D_h = 1$.

$$y = -6.6196x^4 + 8.9056x^3 + 1.8710x^2 - 4.2987x + 0.5287$$

Model matematika tersebut merupakan model pertama pada sebuah profil kecepatan sebuah saluran udara. Dari persamaan profil kecepatan pada $x/D_h = 1$, diperoleh nilai maksim $U/U_{Ref} = 1.146$ dan minimumnya $U/U_{Ref} = 0.342$

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, DRPM DIKTI dan LP4MP Universitas Islam Majapahit berdasarkan kontrak no. 113/SP2H/LT/DRPM/2019 tanggal 11 Maret 2019, 050/SP2H/MONO/L7/2019 tanggal 26 Maret 2019, dan 01/LP4MP/UNIM/K/IV/2019 peneliti telah mendapatkan pendanaan penelitian sehingga penelitian dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Danbon, F., & Sollicc, C. (2002). Aerodynamic Torque of a Butterfly Valve—Influence of an Elbow on the Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque. *Journal of Fluids Engineering*, 122(2), 337. <https://doi.org/10.1115/1.483262>
- Didwania, M., Singh, L., Malik, A., & Sisodiya, M. S. (2014). Analysis of Turbulent Flow over a 90 ° Bend of Duct Using In Centralized A . C . Plant by CFD Code, 11(4), 41–48.
- Dutta, P., & Nandi, N. (2015). Effect of Reynolds number and curvature ratio on single phase turbulent flow in pipe bends. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 19(1), 5–16.
- Gandhi, B. K., Verma, H. K., & Abraham, B. (2016). Mathematical modeling and simulation of flow velocity profile for rectangular open channels, 5010(January). <https://doi.org/10.1080/09715010.2015.1136244>
- Homicz, G. F. (2004). Computational Fluid Dynamic Simulations of Pipe Elbow Flow. *Sand Report*, (August). [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(93\)90004-Z](https://doi.org/10.1016/0742-051X(93)90004-Z)

- Inthavong, K. (2019). A unifying correlation for laminar particle deposition in 90-degree pipe bends. *Powder Technology*, 345, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.095>
- Jeon, S. Y., Yoon, J. Y., & Shin, M. S. (2010). Flow characteristics and performance evaluation of butterfly valves using numerical analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 12, 012099. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/12/1/012099>
- Kra, E. Y., & Merkley, G. P. (2004). Mathematical modeling of open-channel velocity profiles for float method calibration, 70, 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.06.008>
- Matyka, M. (2004). Solution to two-dimensional Incompressible Navier-Stokes Equations with SIMPLE, SIMPLER and Vorticity-Stream Function Approaches. Driven-Lid Cavity Problem: Solution and Visualization. *Online*, 39(November), 13. <https://doi.org/10.1002/flid>
- Musa, M. N., & Mukhtar, M. N. H. (2014). Air Flow Analysis in Square Duct Bend. *Applied Mechanics and Materials*, 695, 622–626. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.695.622>
- Rahimzadeh, H., Maghsoodi, R., Sarkardeh, H., & Tavakkol, S. (2012). Simulating flow over circular spillways by using different turbulence models. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 6(1), 100–109. <https://doi.org/10.1080/19942060.2012.11015406>
- Rieschel, E., & Brandt, L. (2016). A Study on the Flow of Viscous Fluids in a Square Duct, 1–30.
- Rup, K., & Sarna, P. (2011). Analysis of turbulent flow through a square-sectioned duct with installed 90-degree elbow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(5), 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.06.002>
- Sarna, P. (2011). MEASUREMENT OF FLOW RATE IN SQUARE-SECTIONED DUCT BEND Kazimierz Rup, (1971), 301–311.
- Sudo, K., Sumida, M., & Hibara, H. (2001). Experimental investigation on turbulent flow through a circular-sectioned 180° bend. *Experiments in Fluids*, 28(1), 51–57. <https://doi.org/10.1007/s003480050007>
- Sutardi, S., Wawan, A. W., Affan, I., Iswati, I., & Sutrisno, M. D. (2010). Experimental study of the effect of guide vane insertion and reynolds numbers on the flow pressure drop in a 90° rectangular elbow. *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*.
- Vedovoto, J. M., Serfaty, R., Da, A., & Neto, S. (2015). Mathematical and Numerical Modeling of Turbulent Flows, 87, 1195–1232.

Vidal, A., Vinuesa, R., Schlatter, P., & Nagib, H. M. (2018). International Journal of Heat and Fluid Flow Turbulent rectangular ducts with minimum secondary flow. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 72(November 2017), 317–328. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2018.06.014>

Wagner, C. (n.d.). SA NE M SC PL O E – C EO AP LS TE S PL O E –, II.