

Kaji Eksperimental Efek Separasi Flow Pada Arah Radial Terhadap Performa Rectangular Elbow Dengan Variasi Bilangan Reynolds

Drajat Indah Mawarni

Staff Pengajar STT – Ronggolawe Cepu
Jalan Kampus Ronggolawe Blok B – 1 Mentul Cepu 58315
Phone: +62-96 – 422322; 0062 Fax: 0062-96 -425429
E-mail : drajad_i@yahoo.com

Abstract

This study aimed to determine the effects of flow separation on the distribution pattern statics pressure recovery in the flow through the rectangular elbow. The study was conducted experimentally by measuring the static pressure at the area of radius r at the center of curvature. Pressure measurements were made with three variations of the Reynolds number (Re). The results of the measurement of static pressure generally indicates that the flow pattern in the radial direction is formed does not undergo significant changes with the change of Reynolds number / flow rate. The results of measurement obtained information that has outerwall side pressure coefficient (C_p) is positive, while in the inner side wall has a pressure coefficient (C_p) is negative. This shows that the outer side has a greater pressure than the inner side. In the radial direction the pressure coefficient (C_p) increased as you bend radius of curvature rectangular, which means that the larger the finger - the finger curvature, stress the fish is also getting bigger. This research has not found any effect on the pattern of change in Reynolds number and flow characteristics that form the radial direction passing through the channel testing.

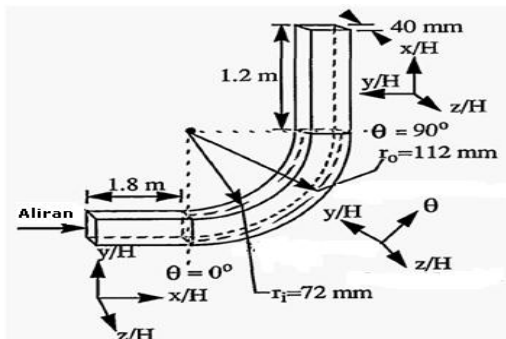
Keywords : *flow separation , rectangular elbow , static pressure recovery, Reynolds number*

1. Pendahuluan

Karakteristik aliran yang melalui saluran melengkung sangat kompleks. Pada saluran lengkung terjadi separasi aliran. Separasi aliran di dalam bend memberikan kontribusi yang cukup besar dalam menimbulkan pressure drop. Proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang secara kontinyu melawan gaya gesek dan hambatan berupa adverse pressure gradient. Adverse pressure gradient pada aliran fluida dapat menyebabkan momentum aliran berkurang. Apabila aliran tidak mempunyai momentum yang cukup untuk dapat mengatasi adverse pressure gradient, maka aliran ini akan terseparasi dan berbalik arah dari aliran utamanya.

Penelitian aliran separasi dalam saluran lengkung dilakukan Sheu dan Tsai, Sheu T. W. H and Tsai S. F., "Vortical Flow Topology in a Curved Duct with 90° Bend", Proceeding of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics, pp.121-129, Elounda, Greece, August 21-23, 2006., Yluo dkk, YLuo, Lim . and Ho Q. W., "On swirl development in a square cross-sectioned, S-shaped duct", Springer-Verlag, 2006., Sedlar dan Prihoda, Sedlar M., and Prihoda J., "Investigation of Flow Phenomena in Curved Channels of Rectangular Cross-Section", Engineering Mechanics, Vol. 14, No. 6, pp. 387-397, 2007. Sheu dan Tsai, Yluo dkk melakukan kajian topology aliran didalam saluran 90°, menunjukkan bahwa gaya sentrifugal mendesak partikel fluida bergerak menuju dinding luar. Sedlar dan Prihoda mengkaji pemisahan aliran dalam tikungan diffuser dengan rectangular cross-section. Hasil ditunjukkan bahwa kompleksitas aliran separasi dipengaruhi geometri diffuser dan Reynolds number.

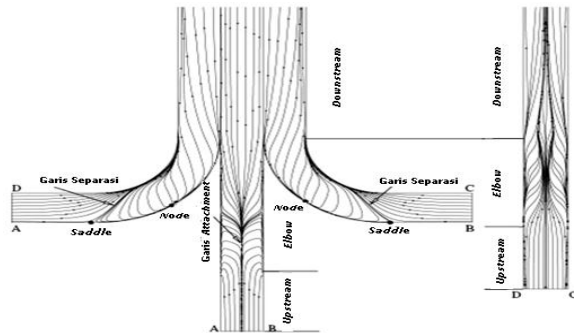
Gambar 1 menunjukkan penampang rectangular duct pada penelitian Cumming. Dalam penelitian tersebut juga digunakan pipa berpenampang elip, lingkaran dan persegi. Kajian penelitian lainnya dilakukan Patel, Patel, V. C., "The Effects of Curvature on the Turbulent Boundary Layer", Aeronautical Research Council, Reports and Memoranda No. 3599*, London, 1969., untuk mendapatkan koefisien tekanan pada dinding saluran, dengan dilakukan pengukuran static-pressure pada dinding saluran, dalam penelitian ini digunakan saluran duct lurus panjang 10 ft, dan penampang 1x5 ft dan disambungkan dengan saluran duct melengkung sudut 90° yang berpenampang 1x5 ft, radius dalam 2 ft, radius luar 3 ft. dan fluida udara dihisap oleh blower. Hal ini diperkuat oleh penelitian Sheu dan Tsai.



Gambar 1 Geometri belokan dan sistem koordinat

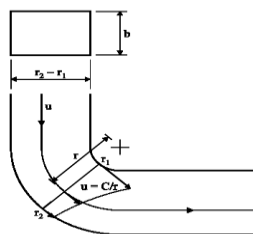
Selain itu, pengkajian tentang turbulent boundary layer pada permukaan lengkung juga dilakukan Meroney dan Bradshaw, Meroney, R. N and Bradshaw, P., "Turbulent Boundary Layer Growth Over a Longitudinally Curved Surface", AIAA Journal, vol. 13, No. 11, pp. 1448-1453, 1975. Hasil kajiannya

menyatakan bahwa untuk aliran pada convex survice (cembung), gaya sentrifugal pada elemen fluida harus diseimbangkan dengan gradient tekanan yang menuju ke dalam. Jika partikel bergerak terlalu cepat pada lokasi ini mempunyai gaya sentrifugal yang besar pula, dan partikel bergerak ke arah luar dan demikian juga sebaliknya.



Gambar 2 Separasi aliran pada curved duct

Kajian tentang separasi aliran yang dilakukan oleh Sheu dan Tsai hasil kajiannya disimpulkan bahwa tekanan pada sisi inner wall terlihat menurun secara bertahap. Kenaikan tekanan secara dramatis sepanjang sisi outer wall mengakibatkan gradien tekanan merugikan (adverse pressure gradient) pada wilayah dekat dengan sisi masuk. Adverse pressure gradient berkembang di sepanjang dinding outer dapat menyebabkan terjadinya pemisahan aliran.



Gambar 3 Aliran pada belokan

Gambar 3 menunjukkan gambaran pendekatan aliran pada belokan dengan kecepatan aliran Uniform (U). Pada belokan dapat diasumsikan distribusi dari *free vortex velocity*, diberikan dengan persamaan :

$$u = \frac{C}{r} \dots\dots\dots(1.1)$$

Dimana u adalah kecepatan aliran pada radius r dari pusat lengkungan. Dan konstanta C dapat ditemukan dengan menerapkan persamaan kontinuitas.

$$Q = U b (r_2 - r_1) = b \int_{r_1}^{r_2} u \, dr \dots\dots\dots(1.2)$$

Dimana b adalah lebar sisi duct. Dengan mensubstitusikan persamaan (1.1), didapat:

$$C = U \frac{r_2 - r_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \dots\dots\dots(1.3)$$

Jadi distribusi kecepatannya adalah, dalam bentuk tak berdimensi:

$$\frac{u}{U} = \frac{r_2 - r_1}{r \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \dots\dots\dots(1.4)$$

Hubungan antara distribusi tekanan dapat ditemukan dengan menerapkan persamaan *bernoulli* pada belokan:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho U^2 = p + \frac{1}{2} \rho u^2 \dots\dots\dots(1.5)$$

dimana p_0 adalah tekanan statis referensi, p adalah tekanan pada radius r pada belokan. Sedangkan persamaan untuk menghitung koefisien tekanan (c_p) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$c_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \dots\dots\dots(1.6)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (1.5) ke persamaan (1.6), maka didapat persamaan:

$$c_p = 1 - \frac{u^2}{U^2} \dots\dots\dots(1.7)$$

Sedangkan untuk mendapatkan persamaan debit aliran, dilakukan substitusi persamaan (1.3) dan (1.5), ke persamaan (1.2), sehingga di dapatkan persamaan debit teoritis, yaitu:

$$Q = \frac{b r_1 r_2}{\sqrt{(r_2^2 - r_1^2)}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \dots\dots\dots(1.8)$$

Untuk memperoleh laju aliran aktual, maka perlu digunakan faktor koreksi yang didapatkan secara eksperimental yaitu C_d , maka persamaan debit aktual menjadi:

$$Q = C_d \frac{b r_1 r_2}{\sqrt{(r_2^2 - r_1^2)}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \dots\dots\dots(1.9)$$

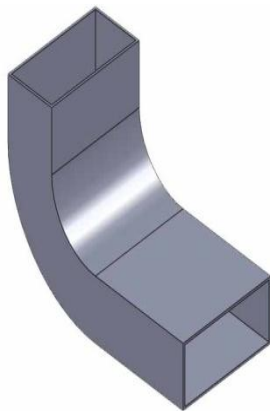
C_d merupakan *discharge coefficient* yang di rumuskan dengan persamaan:

$$C_d = \frac{\left[\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - 1\right] \left[\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \sqrt{\frac{1}{2} \rho U^2 \Delta p} \dots\dots\dots(1.10)$$

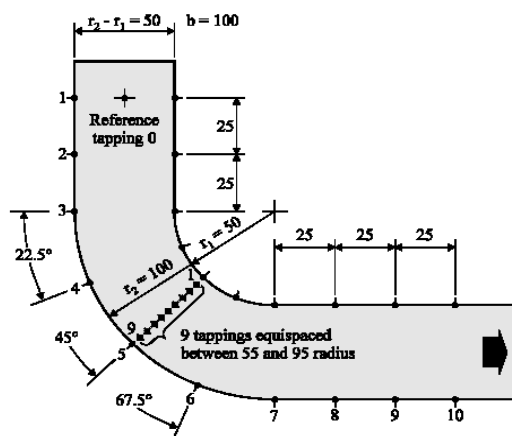
2. Metode Penelitian

2.1 Model Saluran

Model uji adalah *curved ducts* dengan dengan dimensi penampang 50 mm x 100 mm, diameter dalam 50 mm dan diameter luar 100 mm. Sepanjang bagian tengah saluran dibuat *pressure tap* untuk mengukur tekanan statis. *Tap-tap* ini dihubungkan dengan selang ke pipa-pipa manometer untuk mengukur tekanan. Model saluran dan koordinat lokasi pengukuran seperti dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



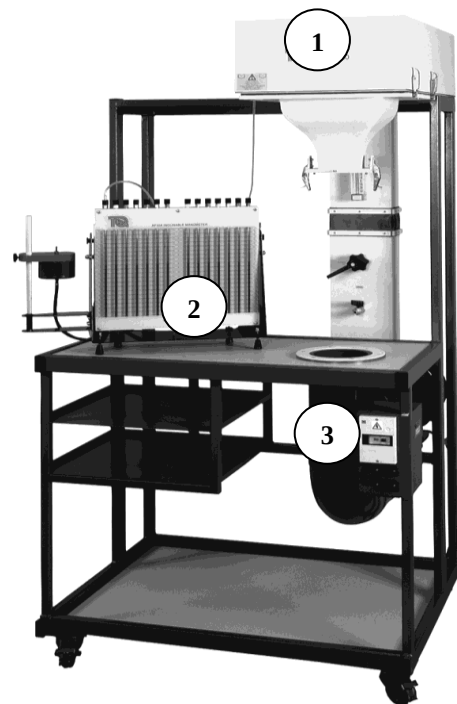
Gambar 1. Model Saluran



2.2 Wind Tunnel

Eksperimen dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Thermofluida, Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan Airflow Bench (Gambar 3). Alat ini adalah jenis *open circuit wind tunnel* dengan penampang 50 mm x 100 mm. Airflow Bench berfungsi untuk menguji performance saluran yang secara khusus untuk fenomena internal flow dengan menggerakkan aliran udara ke dalam model test. Dalam apparatus terdapat nosel digunakan untuk menaikkan kecepatan aliran *free stream* sebelum masuk lokasi pengukuran. Sebelum masuk nosel, udara melalui *honeycomb* supaya aliran *uniform* dalam *settling*

chamber. Manometer berfungsi untuk mengambil data tekanan statis saluran dengan mencatat perbedaan ketinggian pipa manometer sebelum dan sesudah apparatus dioperasikan. Motor listrik berfungsi menggerakkan Fan untuk menyuplai aliran udara ke dalam lorong uji. Komponen-komponen utama peralatan ini diperlihatkan seperti dalam Gambar di bawah ini: 1. Airflow Bench, 2. Manometer, 3. Motor Listrik



Gambar 3. Apparatus Airflow Bench

2.3 Metode Eksperimen

Eksperimen dilakukan untuk mengukur tekanan statis pada *inner* dan *outer surface*. *Pressure tap* dibuat sepanjang *convex* dan *concave wall*. Tekanan terbaca pada kolom pipa manometer sebagai beda ketinggian sebelum dan sesudah apparatus dioperasikan. Variasi kecepatan dinyatakan sebagai *Reynold number* (Re) dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} D_h}{\mu} \quad (2.1)$$

Dimana Re adalah Reynold number, ρ (Kg/m^3) adalah densitas udara, U_{∞} (m/s) adalah kecepatan *free stream* dan μ (Pa/m/s) adalah viskositas dinamik udara. D_h adalah diameter hidrolis *rectangular elbow* yang dinyatakan dalam persamaan:

$$D_h = \frac{ab}{2(a+b)} \quad (2.2)$$

Dengan a = tinggi penampang saluran dan b = lebar penampang saluran. Koefisien tekanan statis dinyatakan dalam persamaan:

$$C_p = \frac{P_s - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (2.3)$$

Dimana C_p = koefisien *static pressure recovery*, P_s = Tekanan statis lokal (Pa), P_∞ = Tekanan stagnasi aliran (Pa), ρ = densitas udara (Kg/m^3), U_∞ = Kecepatan *free stream* (m/s).

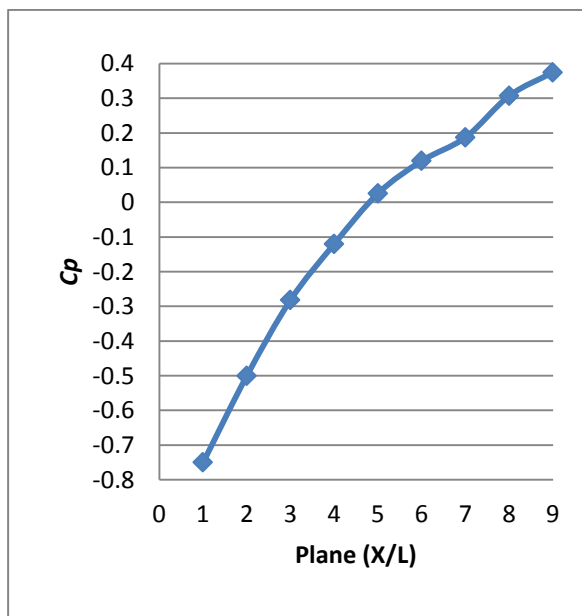
Prosedur pengukuran tekanan adalah sebagai berikut: (i) memasang benda uji dalam apparatus dan menghubungkan pipa kapiler ke Manometer. (ii) mencatat tinggi kolom air raksa sebelum apparatus dioperasikan. (iii) menghidupkan apparatus dengan kecepatan pengukuran. (iv) mencatat beda ketinggian kolom air raksa monomer sebelum dan sesudah apparatus dijalankan.

3. Hasil dan Pembahasan

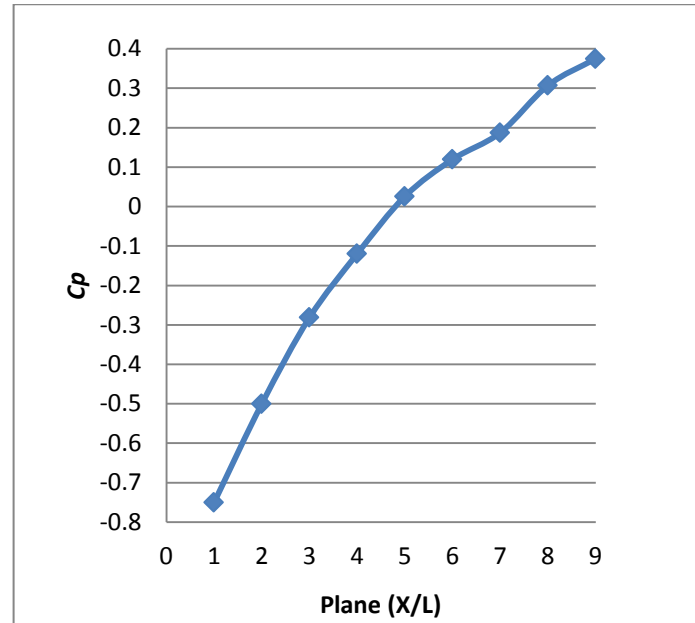
Pada sisi *radial section* koefisien tekanan (C_p) mengalami peningkatan seiring pertambahan radius kelengkungan *rectangular bend*, dapat disimpulkan bahwa semakin besar jari-jari kelengkungan, tekanan semakin besar.

Adanya interaksi *boundary layer* pada *corner* juga dapat menyebabkan fenomena *vortex*.

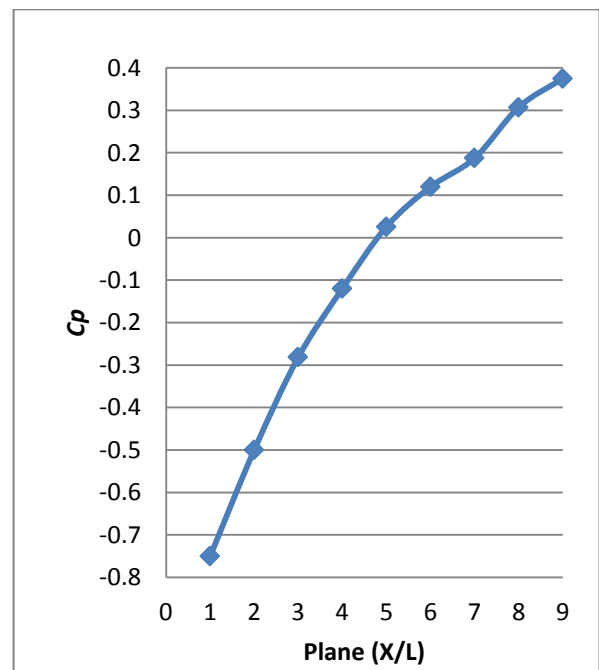
Berikut ini adalah grafik hasil yang didapat setelah dilakukan eksperimen dan analisa Numerik dengan berbagai bilangan Reynolds ($68400^{(1)}$, $103000^{(2)}$, $150000^{(3)}$)



Gambar 12 Grafik verifikasi C_p *radial* eksperimen (Re 68400)



Gambar 13 Grafik verifikasi C_p *radial* eksperimen (Re 103000)



Gambar 14 Grafik verifikasi C_p *radial* eksperimen (Re 150000)

4. Kesimpulan

Hasil-hasil pengukuran tekanan statis secara umum menunjukkan bahwa pola aliran pada arah radial (pusat kelengkungan $-r$) yang terbentuk tidak mengalami perubahan signifikan dengan adanya perubahan Reynold number.

Berdasarkan grafik, C_p radial mengalami peningkatan seiring pertambahan radius kelengkungan rectangular duct 90° , dapat disimpulkan bahwa semakin besar jari-jari kelengkungan, tekanan yang dimiliki semakin besar yang mengindikasikan terjadinya fenomena vortex pada inner wall.

Daftar Pustaka

- Meroney, R. N and Bradshaw, P., "Turbulent Boundary Layer Growth Over a Longitudinally Curved Surface", AIAA Journal, vol. 13, No. 11, pp. 1448-1453, 1975.
- Patel, V. C., "The Effects of Curvature on the Turbulent Boundary Layer", Aeronautical Research Council, Reports and Memoranda No. 3599*, London, 1969.
- Sedlar M., and Prihoda J., "Investigation of Flow Phenomena in Curved Channels of Rectangular Cross-Section", Engineering Mechanics, Vol. 14, No. 6, pp. 387-397, 2007.
- Sheu T. W. H and Tsai S. F., "Vortical Flow Topology in a Curved Duct with 90° Bend", Proceeding of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics, pp.121-129, Elounda, Greece, August 21-23, 2006.
- YLuo, Lim . and Ho Q. W., "On swirl development in a square cross-sectioned, S-shaped duct", Springer-Verlag, 2006.