

KAJIAN FENOMENA SEPARASI ALIRAN PADA PIPA *SUDDEN CONTRACTION* MENGGUNAKAN METODE EKSPERIMEN DAN NUMERIK

* Beny Aulia Putranto¹, Khoiri Rozi², MSK Tony Suryo U²,

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: beny.auliaputranto@gmail.com

Abstrak

Sudden contraction merupakan suatu saluran dengan bentuk terkontraksi secara tiba-tiba dari daerah *upstream* menuju *downstream*. Pada saluran tersebut terjadi penyempitan penampang secara tiba-tiba sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan yang drastis pada daerah kontraksi, hal ini dikarenakan efek *nozzel* pada aliran yang mengalami separasi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Thermofluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen dan simulasi secara numerik untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi pada pipa *sudden contraction* dengan memperhatikan *Coefficient of Pressure* dari aliran. Analisa eksperimen dilakukan dengan menggunakan perangkat pengujian berupa wind tunnel yakni *Air Flow Bench AF10*. Alat uji yang digunakan adalah sebuah pipa *sudden contraction* dengan rasio kontraksi 10:7 dan panjang saluran 380 mm. Analisa secara numerik dilakukan dengan simulasi menggunakan *software ANSYS FLUENT 14* dengan memasukkan kondisi-kondisi yang sesuai dengan pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saluran *sudden contraction* aliran mengalami zona separasi pada rentang X/D_h -1.08 sampai X/D_h 0.12 untuk Y/D_h 0.0, pada rentang X/D_h -0.6 sampai X/D_h 0.36 untuk Y/D_h 0.032 dan pada rentang X/D_h -1.08 sampai X/D_h 0.0 untuk Y/D_h 0.48. Sedangkan untuk zona resirkulasi terjadi sesaat setelah melewati zona separasi hingga beberapa saat sebelum melewati batas aliran.

Kata kunci: *Sudden contraction*, separasi, *coefficient of pressure*

Abstract

Sudden contraction is a contracted form of the channel with a sudden from the upstream to the downstream. In the channel cross-sectional narrowing abruptly, which causes a drastic reduction in the pressure on the area contraction, this is due to the effect on the flow *Nozzel* experiencing separation. The study was conducted at the Laboratory Thermofluida Department of Mechanical Engineering, University of Diponegoro. In this study, the experimental methods and numerical simulations to determine the flow phenomena that occur in a sudden pipe contraction by observing the coefficient of pressure of the flow. Analysis of experiments performed using testing devices such as the wind tunnel AF10 Air Flow Bench. Test equipment used is a pipe sudden contraction with a contraction ratio of 10:7 with a channel length of 380 mm. Analysis of numerical simulations performed with ANSYS FLUENT 14 using the software by entering the appropriate conditions to test. The results showed that the channel is experiencing a sudden contraction flow separation zone at range X/D_h -1.08 to X/D_h 0:12 of Y/D_h 0.0, at range X/D_h -0.6 to X/D_h 0:36 of Y/D_h 0.032 and the range X/D_h -1.08 to X/D_h 0.0 for Y/D_h 00:48. As for the recirculation zone occurs shortly after passing through the separation zone until a few moments before passing the thresholds.

Keywords: *Sudden contraction*, separation, *coefficient of pressure*

1. PENDAHULUAN

Sudden contraction merupakan suatu saluran dengan bentuk terkontraksi secara tiba-tiba pada daerah *upstream* menuju *downstream*. Pada saluran tersebut terjadi penyempitan penampang secara tiba-tiba yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan, selain itu dapat mengakibatkan pemisahan aliran (*secondary flow*) pada aliran primer. Pada aliran *sudden contraction* fluida tidak dapat berbelok secara tajam. Hal ini mengakibatkan terjadi kenaikan

tekanan aliran maksimum pada sisi *upstream*, selanjutnya tekanan mengalami penurunan mencapai minimum saat memasuki daerah *downstream*.

Perbandingan kontraksi yang terjadi pada saluran *sudden contraction* akan menghasilkan *energy losses*. Apabila daerah kontraksi semakin besar maka *energy losses* yang terjadi pada aliran pun semakin besar. Aliran yang melewati *sudden contraction* memiliki diameter yang lebih kecil dibandingkan ukuran penampangnya. Sehingga pada daerah ini juga berlaku fenomena *vena contracta* disebabkan aliran yang melewati *sudden contraction* tidak dapat mengikuti geometri saluran secara persis. Sehingga pada wilayah *vena contracta* kecepatan fluida lebih besar dibandingkan wilayah keluarannya, sedangkan tekanannya lebih kecil dibandingkan wilayah keluarannya.

Aliran pada *sudden contraction* memiliki karakteristik yang. Lapisan batas turbulen mengalami hambatan pada aliran nya. Hambatan ini mengakibatkan kerugian berupa perubahan tekanan yang mengakibatkan aliran mengalami separasi pada daerah *upstream* dan *reattachment* pada daerah *downstream* [1].

Armaly dkk melakukan penelitian dengan mengukur kecepatan aliran untuk aliran tiga dimensi, pada penelitian tersebut separasi aliran udara didekati pada wilayah *downstream* menggunakan dua komponen *Laser Doppler Velocimeter*. Geometri yang digunakan memiliki aspek rasio $AR=8$ dan ekspansi rasio $ER= 2,02$. Aliran diukur pada Reynold Number $98,5 \leq Re \leq 525$. Hasil pengukuran kecepatan menunjukkan aliran membentuk putaran yang mengembang pada bagian dekat tepi dinding lapisan batas geser separasi. Tubrukan aliran yang terjadi pada *stepped wall* menyebabkan pengembangan distribusi aliran *reattachment* yang minimum. Wilayah aliran balik dan *reattachment* berkembang pada batas kedua sisi *sidewall* dan *step*, dan bagian ini meningkat seiring kenaikan Reynold Number [2].

Chiang dkk [3] melakukan kajian secara numerik mengenai fenomena aliran dalam *sudden contraction* yang dimodelkan pada *backward-facing step*. Pada kajian numerik yang dilakukannya menunjukkan bahwa partikel-partikel fluida pada bagian *upstream* cenderung bergerak menuju sisi vertikal. Pengembangan aliran dalam dua saluran dengan kontraksi rasio 2 dan 4 telah dilakukan pada lima bilangan Reynold yaitu 426, 1150, 1500, 2500, dan 3150 untuk mendapatkan data eksperimental. Di sudut *upstream*, sangat sedikit partikel *sidewall* yang menuju titik *downstream spiral-focal*. Partikel dalam pusaran spiral menuju bidang simetri $y = 0$. Nilai kontraksi rasio dan bilangan Reynold mempengaruhi partikel dalam pusaran spiral *downstream* menuju bidang simetri $y = 0$. Serta beberapa partikel bergerak menuju dinding vertikal.

Orselli dan Lemos [4] membandingkan kerja numerik dan eksperimental pada saluran *sudden contraction* tanpa poros insert. Studi numeriknya ditemukan koefisien minor losses (k_c) lebih tinggi 30% dibandingkan eksperimen. Sisi inlet saluran ditemukan tekanannya konstan sampai menuju batas kontraksi dan kemudian tekanan mengalami penurunan tajam sesaat menuju garis kontraksi sampai $C_p = -0.5$. Hal ini dikarenakan momentum aliran cukup kuat untuk mengatasi gaya viskos. Selanjutnya tekanan mengalami sedikit kenaikan sampai $C_p = 0.5$ di titik $x/r_{ex} = 2$ dan akhirnya secara gradual tekanan turun sampai keluar saluran. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui fenomena aliran pada saluran *Sudden Contraction CR 10:7*, mengamati lokasi terjadinya zona separasi dan resirkulasi dan melakukan simulasi dengan menggunakan perangkat ANSYS FLUENT 14.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen dan simulasi secara numerik untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi pada pipa *sudden contraction* dengan memperhatikan *Coefficient of Pressure* dari aliran. Analisa eksperimen dilakukan dengan menggunakan perangkat pengujian berupa wind tunnel yakni *Air Flow Bench AF10*. Alat uji yang digunakan adalah sebuah pipa *sudden contraction* dengan rasio kontraksi 10:7 dengan panjang saluran 380 mm. Analisa secara numerik dilakukan dengan simulasi menggunakan software ANSYS FLUENT 14 dengan memasukkan kondisi-kondisi yang sesuai dengan pengujian. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

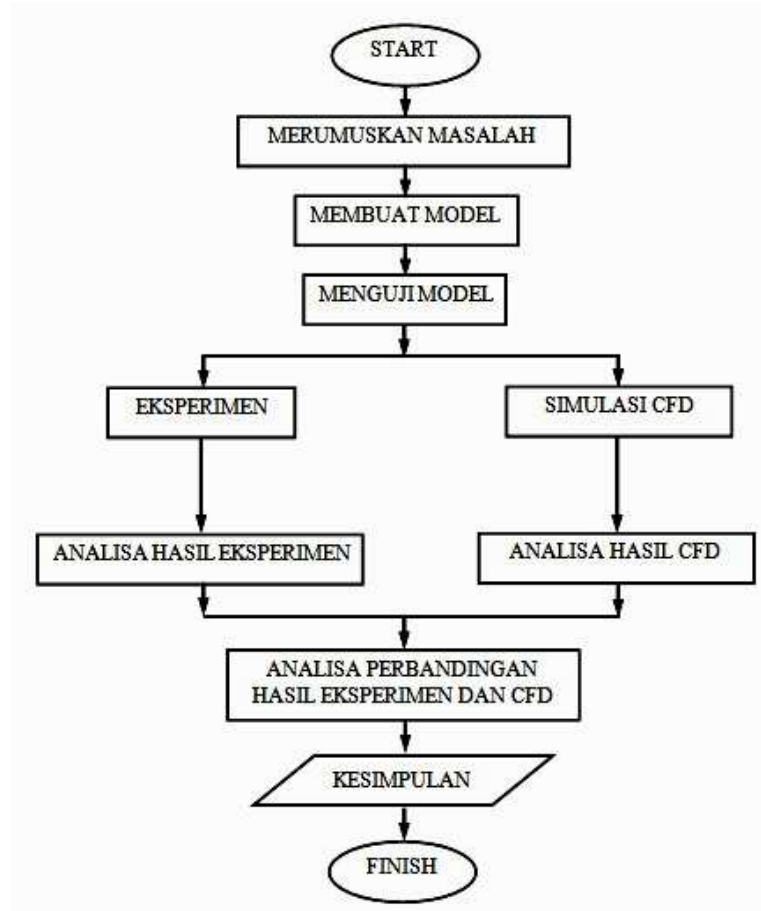
2.1. Metode Eksperimen

Metode eksperimen digunakan untuk mengukur tekanan statis pada permukaan dari pipa *sudden contraction*. Pengukuran tekanan dilakukan pada *pressure tap* yang telah dibuat pada permukaan alat uji, yakni dengan menghubungkan *pressure tap* dengan pipa-pipa manometer menggunakan selang berdiameter 3 mm. Dari hasil pengukuran tekanan, maka akan didapat beda ketinggian pada manometer sesaat setelah alat uji (*Air Flow Bench AF 10A*) dinyalakan dan diatur pada bilangan Reynold yang ditentukan. Sehingga data beda ketinggian tersebut digunakan untuk menganalisa distribusi tekanan pada pipa *sudden contraction*.

a. Benda Uji

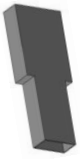
Benda uji yang digunakan terbuat dari *stainless steel* dengan dimensi penampang inlet (A_i) = 100 x 50 mm², penampang exit (A_e) = 70 x 50 mm², panjang *upstream* (L_u) = 180 mm, panjang *downstream* (L_d) = 200 mm,

contraction ratio (CR) = 10:7. Sepanjang permukaan dibuat *pressure tap* berdiameter dalam (d_{tube}) = 2 mm dengan spesifikasi model dan koordinat lokasi pengukuran dalam Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Spesifikasi benda uji

Model	Parameter	Dimensi	Unit
	Ai	100 x 50	mm ²
	Ae	70 x 50	mm ²
	Lu	180	mm
	Ld	200	mm
	CR	10 : 7	

b. Alat Uji

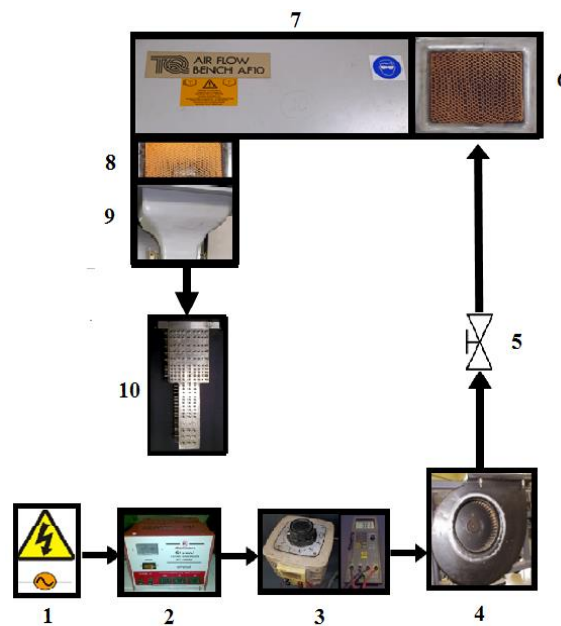
Data tekanan pada *sudden contraction channel* diambil menggunakan perangkat berupa *wind tunnel* yakni *Airflow Bench AF 10A* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Alat ini merupakan jenis *open wind tunnel* dengan penampang 50 mm x 100 mm. *Airflow Bench* berfungsi untuk menguji kinerja aliran dalam saluran, secara khusus untuk mengetahui fenomena *internal flow* dengan menyalurkan aliran udara kedalam model uji. Pada apparatus terdapat nosel yang digunakan untuk menaikkan kecepatan aliran *free stream* sebelum masuk lokasi pengukuran.



Gambar 2. Air Flow Bench AF10

c. Instalasi dan Pengambilan Data

Alat uji *sudden contraction* dipasang terlebih dulu pada apparatus Air Flow Bench AF10. Kemudian *pressure tap* yang terdapat pada alat uji dihubungkan dengan pipa-pipa yang terhubung pada manometer. Sehingga dapat kita ketahui beda ketinggian pada masing-masing *pressure tap* pada beragam bilangan reynold yang telah ditentukan. Skema dari apparatus serta pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengujian

Keterangan:

1) Catu Daya, 2) Stabilizer, 3) Regulator, 4) Blower, 5) Valve, 6) Honeycomb, 7) Settling Chamber, 8) Honeycomb, 9) Nozzle, 10) Test Section.

2.2 Metode Simulasi-CFD

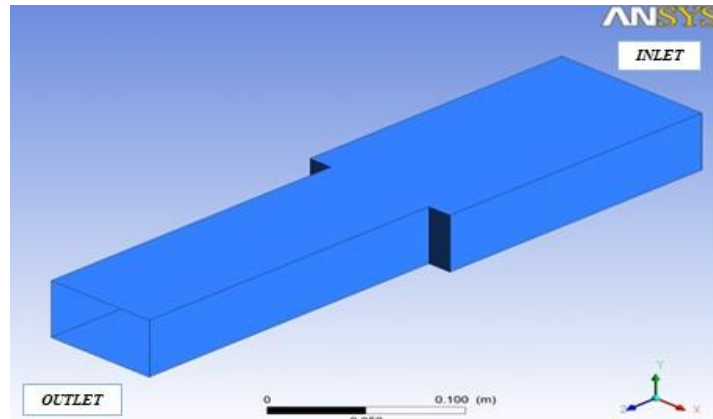
Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah alat bantu yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang berkaitan dengan reaksi kimia dengan menggantikan system persamaan diferensial dengan sebuah persamaan aljabar yang diselesaikan menggunakan perhitungan komputer. CFD menyediakan prediksi kualitatif dan kuantitatif dari suatu aliran fluida dengan:

- Model matematis *Partial Differential Equation*
- Metode numeris (*discretization and solution techniques*)
- Software tools (*solvers, pre- and postprocessing utilities*)

Pada penelitian ini *software* yang digunakan dalam melakukan simulasi secara numerik adalah ANSYS FLUENT 14. Sebelum dilakukan simulasi numerik, maka terlebih dahulu dilakukan langkah-langka pemodelan dan pendiskripsian kondisi sebagai berikut:

a. Deskripsi Model

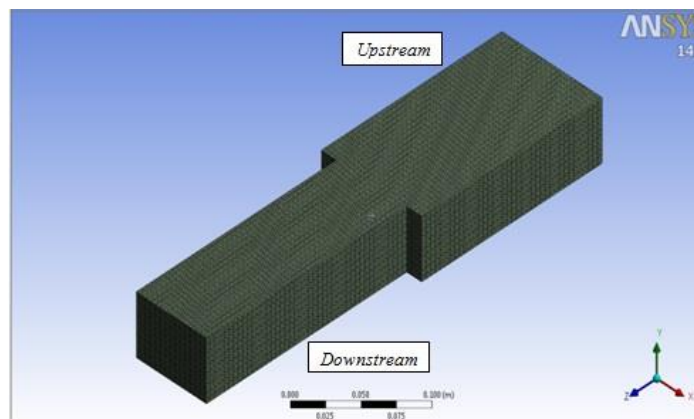
Model saluran *sudden contraction* memiliki luas penampang pada sisi masuk adalah $100 \times 50 \text{ mm}^2$ dan mengalami pengecilan penampang pada sisi keluar menjadi $70 \times 50 \text{ mm}^2$. Panjang saluran *sudden contraction* adalah 380 mm. Aliran fluida yang masuk kedalam saluran adalah udara dengan temperature 303K. Fluida mengalir dalam pipa dengan kecepatan antara 30 sampai 34 m/s. Model tersebut dideskripsikan pada menu general seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Saluran *sudden contraction*

b. Meshing

Meshing dilakukan pada menu *mesh*, dimana pembuatan geometri domain komputasi dilakukan terlebih dahulu pada desain *modeler*. *Meshing* yang digunakan adalah *automatic* dengan ukuran *element size* 0.015m. Setelah dilakukan proses iterasi maka jumlah nodal dan elemen disesuaikan dengan mengatur standar Y^+ sehingga didapat nilai konfigurasi *meshing* pada masing-masing bilangan reynold. Meshing yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Meshing pada pipa *sudden contraction*

c. Simulasi ANSYS FLUENT

Simulasi pada ANSYS FLUENT dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Melakukan import file *mesh generator ANSYS Workbench* atau mengkoneksikan jalur lintas *mesh* - FLUENT.
- File yang diimport merupakan domain komputasi aliran yang ingin ditinjau dan diteliti.
- Menentukan formulasi *solver* dan model fisik permasalahan (Seperti jenis aliran: laminar/ turbulen, inviskos, transient dan melibatkan perpindahan panas /tidak).
- Menentukan jenis dan sifat material.
- Menentukan *boundary condition* pada model yang dibuat.
- Menentukan parameter kendali solusi (*solution control*).
- Melakukan tebakan awal (*initialize*) aliran.
- Melakukan proses perhitungan (iterasi).
- Melakukan *postprocessing* menampilkan nilai dan gambar kontur.

d. Penentuan Solusi

Sebelum dilakukan iterasi maka dilakukan pemilihan model solusi yang digunakan dalam proses simulasi. Pemilihan model yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Model solusi pada simulasi

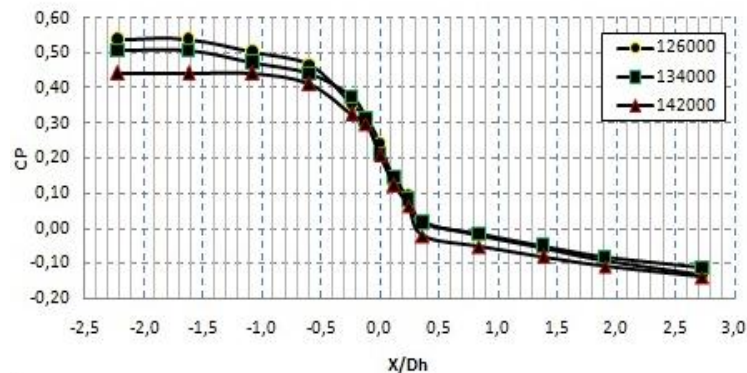
Parameter	Masukan
<i>Model</i>	<i>K-epsilon</i>
<i>K-epsilon Model</i>	<i>Realizable</i>
<i>Near-Wall Treatment</i>	<i>Non-Equilibrium wall function</i>
<i>Material</i>	<i>Udara</i>
<i>Scheme</i>	<i>PISO</i>
<i>Gradient</i>	<i>Least Squares Cell Based</i>
<i>Pressure</i>	<i>Standard</i>
<i>Momentum</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Turbulent Kinetic Energy</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Turbulent Dissipation Rate</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Transient Formulation</i>	<i>Second Order Implicit</i>

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

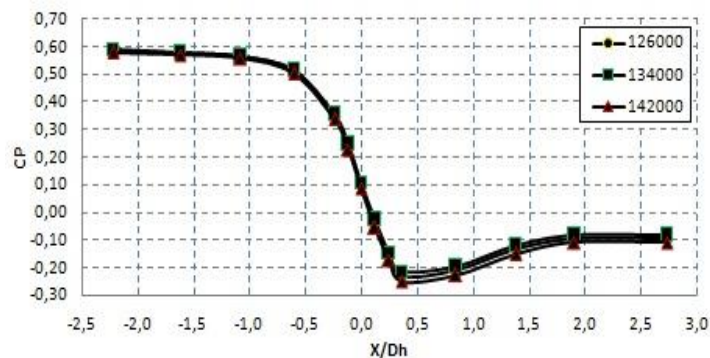
Data eksperimen yang telah dilakukan digunakan untuk melihat distribusi tekanan pada aliran *sudden contraction*, yakni dengan menggunakan grafik dapat dilihat distribusi tekanan aliran pada kondisi masuk sampai keluar saluran. Dari grafik terlihat bahwa aliran mengalami penurunan tekanan yang drastis pada daerah pengecilan penampang dan kemudian mengalami *recovery* pada arah keluaran.

3.1. Distribusi Tekanan Pipa *Sudden contraction* pada $Y/Dh = 0.0$

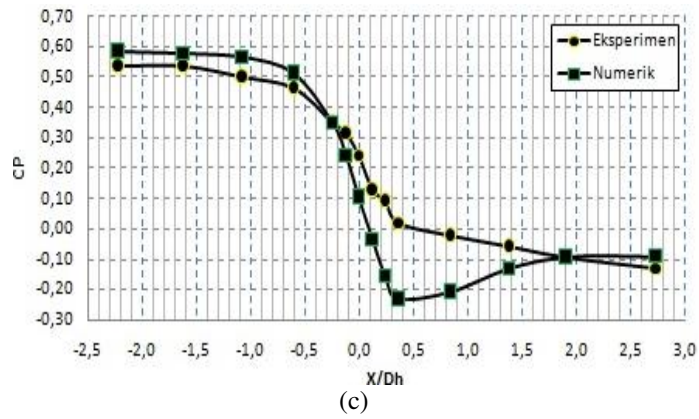
Gambar 6 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan pada permukaan pipa *sudden contraction* pada $Y/Dh = 0,0$. Sumbu X menunjukkan letak point dalam X/Dh yang dihitung dari titik tengah pipa. Sumbu Y menunjukkan besar *Coefficient of Pressure (CP)* dari saluran.



(a)



(b)

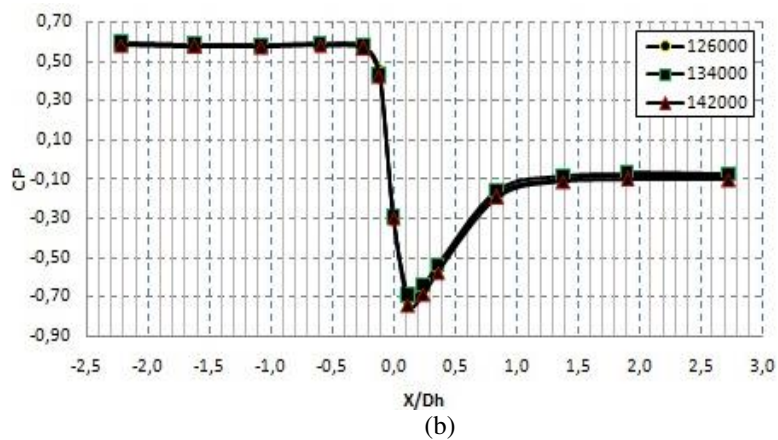
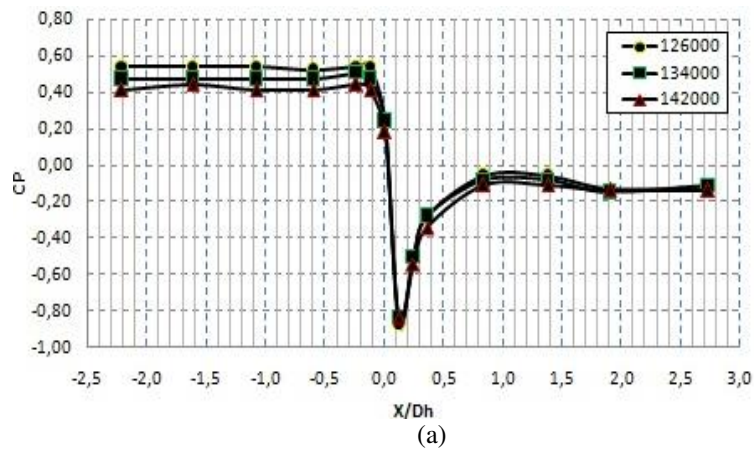


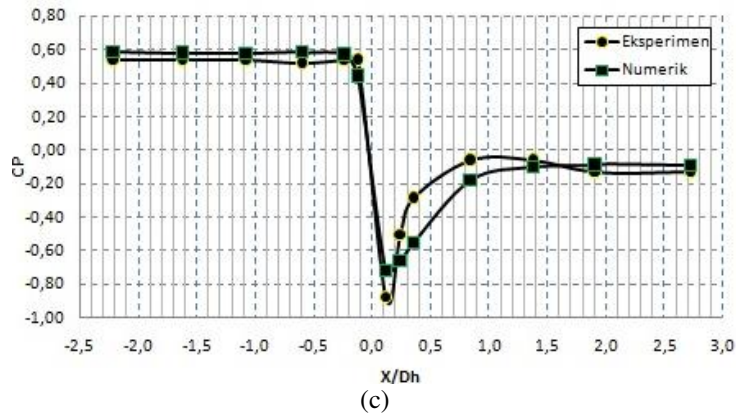
Gambar 6. Distribusi tekanan pipa *sudden contraction*
 (a) Eksperimen, (b) Numerik, (c) Perbandingan Eksperimen dan Numerik pada Y/Dh 0.00

Pada Gambar 6(c) dapat dilihat perbandingan grafik antara hasil dari eksperimen dengan hasil dari simulasi untuk distribusi tekanan pada Y/Dh = 0.00 dengan bilangan Reynold 126000. Saat memasuki saluran dengan koordinat X/Dh -2.22 didapatkan koefisien tekanan hasil eksperimen 0.54 dan numerik 0.59.

Pada koordinat X/Dh -2.22 hingga X/Dh 0.00 (sebelum mengalami kontraksi) terdapat selisih nilai koefisien tekanan yaitu sebesar 0-6%. Ketika memasuki daerah kontraksi, terjadi penurunan yang tajam disebabkan oleh efek nozzle yang ditimbulkan akibat penyempitan penampang secara tiba-tiba. Kemudian aliran mengalami recovery tekanan dan mengalami separasi.

3.2. Distribusi Tekanan Pipa *Sudden contraction* pada Y/Dh = 0.32



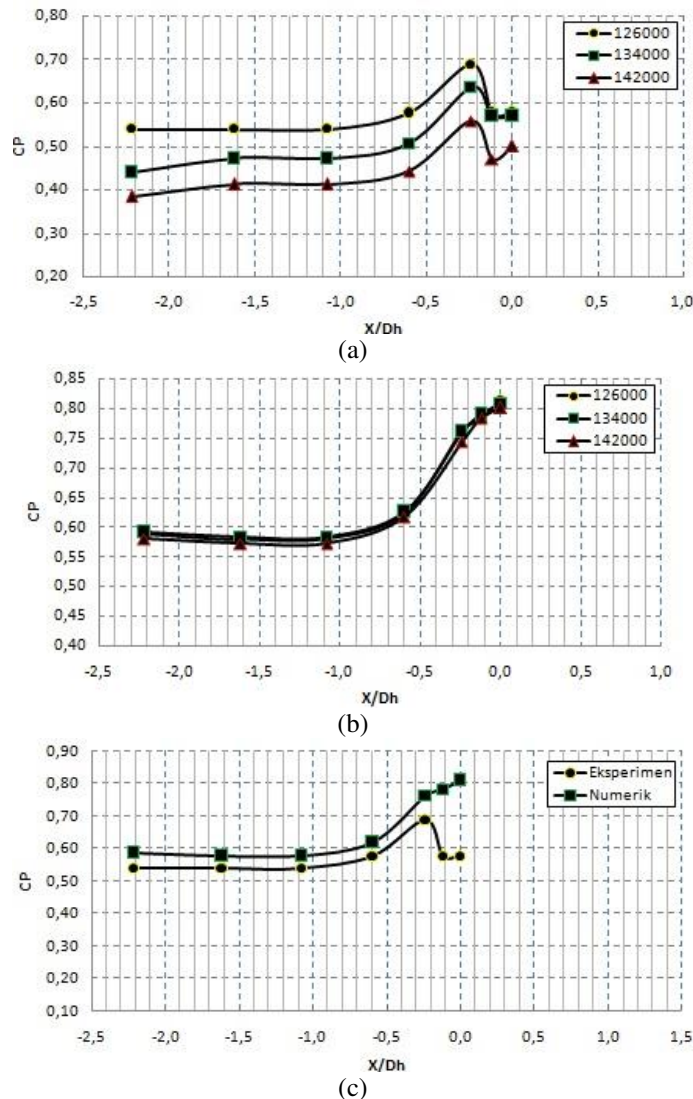


Gambar 7. Distribusi tekanan pipa *sudden contraction*

(a) Eksperimen, (b) Numerik, (c) Perbandingan Eksperimen dan Numerik pada Y/Dh 0.32

Pada Gambar 7(c) terlihat pola distribusi koefisien tekanan yang hampir sama antara hasil eksperimen dan analisa numerik pada X/Dh -2.22 sampai X/Dh -0.12, dimana nilai perbedaan koefisien tekanan sepanjang titik ini berkisar antara 3 sampai 9%. Selanjutnya aliran mengalami penurunan yang drastis melewati titik X/Dh -0.12 hingga 0.12. Koefisien tekanan akan kembali naik hingga X/Dh 0.91. Terdapat perbedaan tekanan hasil eksperimen dengan simulasi yang cukup besar pada daerah ini dengan kisaran 4% - 27%.

3.3 Distribusi Tekanan Pipa *Sudden contraction* pada $Y/Dh = 0.48$



Gambar 8. Distribusi tekanan pipa *sudden contraction*

(a) Eksperimen, (b) Numerik, (c) Perbandingan Eksperimen dan Numerik pada Y/Dh 0.48

Gambar 8(c) menunjukkan perbandingan data distribusi koefisien tekanan hasil eksperimen dan numeric pada Y/D_h 0.48 dengan koefisien tekanan mula-mula 0.54 untuk hasil eksperimen dan 0.59 untuk hasil numeric pada X/D_h -2.22.

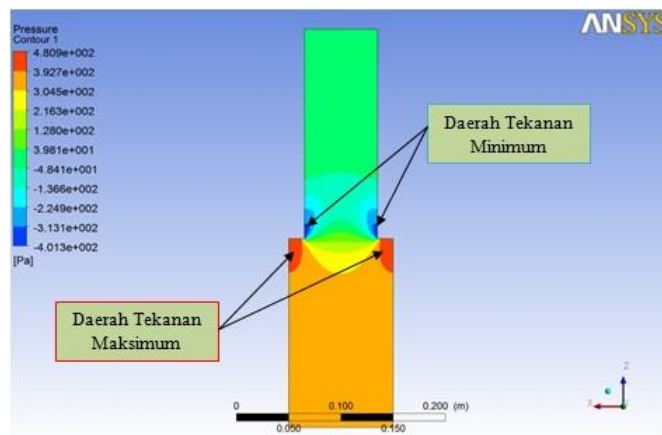
Pada grafik menunjukkan kondisi distribusi koefisien tekanan yang konstan pada rentang X/D_h -2.22 sampai pada X/D_h -1.12. Kemudian aliran mengalami kenaikan tekanan hingga koordinat X/D_h -0.24. Kenaikan tekanan diperkirakan karena fluida mengalami separasi pada daerah dekat dinding di *upstream region*. Karena pada daerah ini terdapat efek *diffuser* yang dapat menaikkan koefisien tekanan pada fluida.

Pada koordinat X/D_h -0.24 hingga X/D_h 0.00 terdapat perbedaan *trend line* antara hasil eksperimen dan numerik. Dimana pada hasil eksperimen menunjukkan penurunan distribusi tekanan, sedangkan hasil eksperimen menunjukkan hal sebaliknya dengan selisih beda koefisien tekanan sebesar 23%.

3.4 Kontur Tekanan Aliran *Sudden contraction* CR 10:7

Gambar 9 merupakan kontur tekanan pada aliran *sudden contraction*. Dimana pada gambar terlihat bahwa aliran masuk pipa yang ditandai warna orange adalah keadaan tekanan yang seragam. Aliran kemudian mengalami penurunan tekanan yang tajam ketika masuk daerah *sudden contraction*.

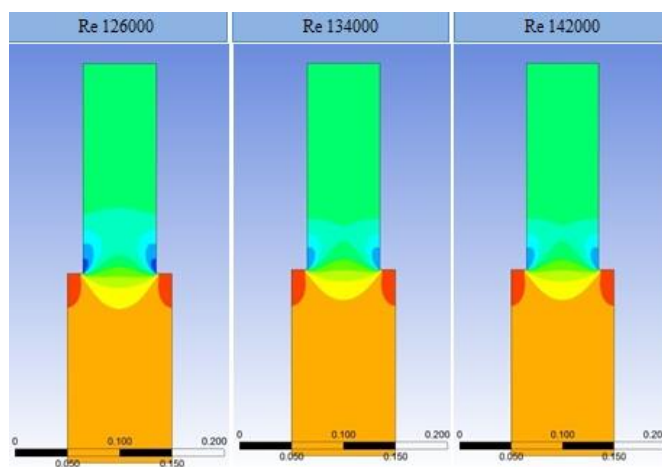
Kontraksi yang terjadi pada pipa mengakibatkan fluida mengalami penurunan tekanan. Hal ini disebabkan karena fluida tidak dapat membelok dengan tajam. Keadaan ini dapat kita lihat pada kontur merah di daerah *silent corner*. Pada daerah ini menunjukkan tekanan yang maksimum dari aliran fluida dan pada *silent corner* diprediksi aliran mengalami resirkulasi.



Gambar 9. Kontur tekanan aliran pipa *sudden contraction*

Selanjutnya zona tekanan rendah terjadi pada daerah *downstream* dekat *tip corner* yang ditandai dengan kontur biru. Sedangkan zona *reattachment* terjadi pada daerah setelah *vena contracta* yang ditandai dengan *recovery* aliran fluida tekanan mengalami *recovery* tekanan setelah melewati daerah *vena contracta*.

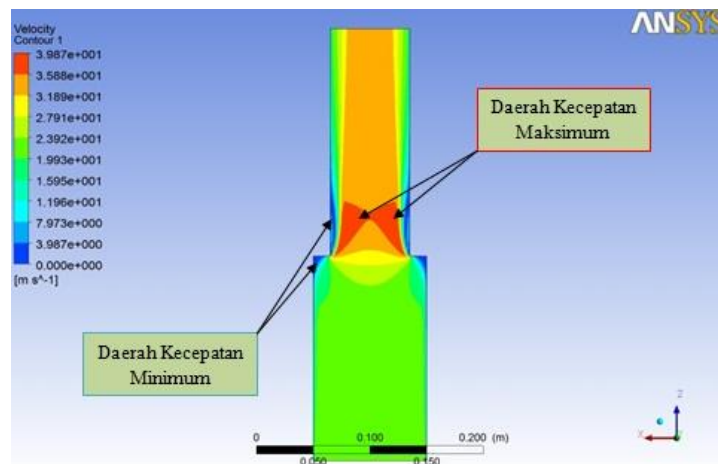
Sedangkan pada Gambar 10 menunjukkan perbandingan kontur tekanan aliran pada *sudden contraction* dengan variasi bilangan Reynold 126000, 134000 dan 142000.



Gambar 10. Perbandingan kontur tekanan aliran pada variasi bilangan Reynold

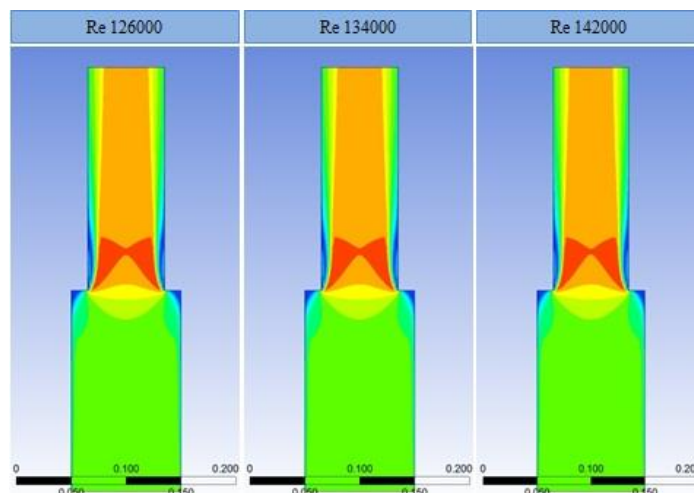
3.5 Kontur Kecepatan Aliran *Sudden contraction* CR 10:7

Pada Gambar 11 dapat dilihat kontur pada aliran yang menunjukkan distribusi kecepatan pada pipa *sudden contraction*. Kontur yang seragam pada aliran fluida yang masuk kedalam pipa menunjukkan kecepatan aliran berada pada kondisi *uniform*. Pada daerah *sudden contraction* terjadi efek *nozzel* yang mengakibatkan kecepatan fluida meningkat secara tajam hingga mencapai maksimum sesaat setelah melewati *sudden*.



Gambar 11. Kontur kecepatan aliran *sudden contraction*

Namun setelah fluida melewati daerah *vena contracta*. Terjadi penurunan kecepatan hingga fluida mencapai keadaan yang stabil. Perbandingan kontur kecepatannya terhadap variasi bilangan Reynold dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan kontur kecepatan aliran pada variasi bilangan Reynold.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil penelitian diketahui fenomena yang terjadi pada aliran saluran *sudden contraction*. Pada daerah *upstream* distribusi tekanan cenderung konstan, hal ini disebabkan karena fluida belum mengalami separasi. Ketika memasuki daerah kontraksi maka terbentuk separasi yang mengakibatkan aliran mengalami penurunan tekanan yang tajam akibat efek *nozzel* dari aliran yang terseparasi. Pada saat memasuki daerah *downstream* terjadi *recovery* pada tekanan aliran, dimana aliran akan menjadi *favorable* akibat momentum aliran yang cukup kuat mengatasi gaya viskos fluida dan energi kinetis aliran.
- Pada saluran *sudden contraction* aliran mengalami zona separasi pada rentang X/D_h -1.08 sampai X/D_h 0.12 untuk Y/D_h 0.0, pada rentang X/D_h -0.6 sampai X/D_h 0.36 untuk Y/D_h 0.032 dan pada rentang X/D_h -1.08 sampai X/D_h 0.0 untuk Y/D_h 0.48. Sedangkan untuk zona resirkulasi terjadi sesaat setelah melewati zona separasi hingga beberapa saat sebelum melewati batas aliran
- Analisa secara numerik menggunakan ANSYS FLUENT 14 menunjukkan pola distribusi tekanan yang menyerupai hasil dari eksperimen.

REFERENSI

- [1] M. Sherry, D. Lo Jacono, and J. Sheridan, 2010, “*An experimental investigation of the recirculation zone formed downstream of a forward facing step*”, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University, Clayton, Victoria 3800, Australia.
- [2] Armaly B.F., Li A. and Nie J.H., 2003. “*Measurements in three-dimensional laminar separated flow*”. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, and Engineering Mechanics, University of Missouri-Rolla, USA.
- [3] T. P. Chiang and Tony W. H. Sheu, 2002, *Numerical studies of a three-dimensional flow in suddenly contracted channels*, Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University Taipei, Taiwan, Republic of China.
- [4] R.M. Orselli and M.J.S. De Lemos, 2005, *Sudden contraction in a turbulent flow with a porous insert*, Sao Jose dos Campos, SP-Brazil