

KAJIAN FENOMENA SEPARASI PADA PIPA *SUDDEN CONTRACTION* DENGAN KONTRAKSI RASIO 5:3

* Hijrah Anjar Nugroho¹, Khoiri Rozi², MSK. Tony Surya Utomo²

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: rahmatpurnomojati@gmail.com

Abstrak

Sudden contraction adalah bentuk saluran terkontraksi secara tiba-tiba dari daerah upstream menuju downstream. Penyempitan secara tiba-tiba ini akan mengakibatkan penurunan tekan dan terjadinya *secondary flow*. Dalam penelitian ini kita menggunakan pipa *sudden contraction* CR 5:3 dengan panjang pipa 380 mm. untuk mengetahui koefisien tekanan pada permukaan pipa, kita menggunakan analisa secara eksperimental dan Numerik. Untuk analisa eksperimental kita menggunakan *Air Flow Banch AF 10* dan *inclinable manometer* sebagai peralatan utama untuk mengambil data tekanan pada pipa. Sedangkan analisa numerik menggunakan ANSYST FLUENT 14.0 untuk menyimulasikan aliran fluida yang mengalir di dalam pipa *sudden contraction*. Pipa *sudden contraction* dengan CR 5:3 mempunyai CP pada pengukuran awal antara 0.6 – 0.71. Aliran mengalir dengan kecepatan konstant dan kemudian mengalami sedikit penurunan tekanan ketika mendekati *sudden*. Kemudian aliran mengalami penurunan tekanan yang tajam saat memasuki *sudden*. Hal ini disebabkan karena efek *nozzle* yang dialami aliran pada pipa *sudden contraction*. Kemudian aliran mengalami *recovery* aliran dan kemudian ter separasi.

Kata Kunci: *sudden*, separasi, tekanan, aliran

Abstract

Sudden contraction is a form of the channel to be abruptly contracted from the upstream to the downstream. *Sudden constriction* will result decreasing of the pressure and the occurrence of *secondary flow*. Pressure drop that occurs in *sudden contraction* will reduce the head flow. In this case we use *sudden contraction* pipe with a CR = 5:3, with length 380 mm. to find out pressure coefficient on the surface of the pipe, we use experimental and numerical analysis. For the experimental analysis we use of *Air Flow Banch AF 10* and *inclinable manometer* as the main equipment to take the pressure data in the pipe. While the numerical analysis using FLUENT 14.0 ANSYST to simulate fluid flow in a *sudden contraction* channel. *Sudden contraction* pipe with CP have a 5:3 CR initially measured between 0.6 - 0.71. Stream flow with constant speed and then decreased slightly when approaching the sudden pressure. Then flow pressure decreased sharply when entering *sudden*. This is because the effect of the nozzle flow in the *sudden contraction* pipe.

Keywords: *sudden*, separation, pressure, flow

1. PENDAHULUAN

Sudden contraction adalah bentuk saluran yang terkontraksi secara tiba-tiba dari daerah upstream menuju downstream. Penyempitan secara tiba-tiba ini akan mengakibatkan penurunan tekan dan terjadinya *secondary flow*. Kehilangan tekan (*pressure drop*) yang terjadi pada *sudden contraction* akan mengurangi *head* aliran. *Bubble separation* dan *vertical flow* yang terjadi pada pipa *sudden contraction* dapat menurunkan *effective area* tetapi menaikkan resistensi aliran.

Pada pipa *sudden contraction*, aliran fluida mengalami efek *nozzle* akibat penyempitan penampang secara tiba-tiba yang dialami oleh pipa. Akibat dari efek *nozzle* ini adalah aliran mengalami penurunan tekanan dan diiringi dengan peningkatan laju dari aliran fluida.

Largeau dkk [1] melakukan kajian tentang fluktuasi pada *wall pressure* dan separasi aliran pada *forward facing step* (FFS), Hasil penelitian menunjukkan bahwa *bubble separation* tertinggi terjadi pada posisi *reattachment* ke daerah *downstream*. *Bubble separation* ditandai dengan gerakan aliran yang lambat (sekitar 0.1 Ue) yang melebar sampai panjang 0.7h dengan ketinggian yang mencapai 0.5h. struktur dari *bubble separation* seperti pusaran.

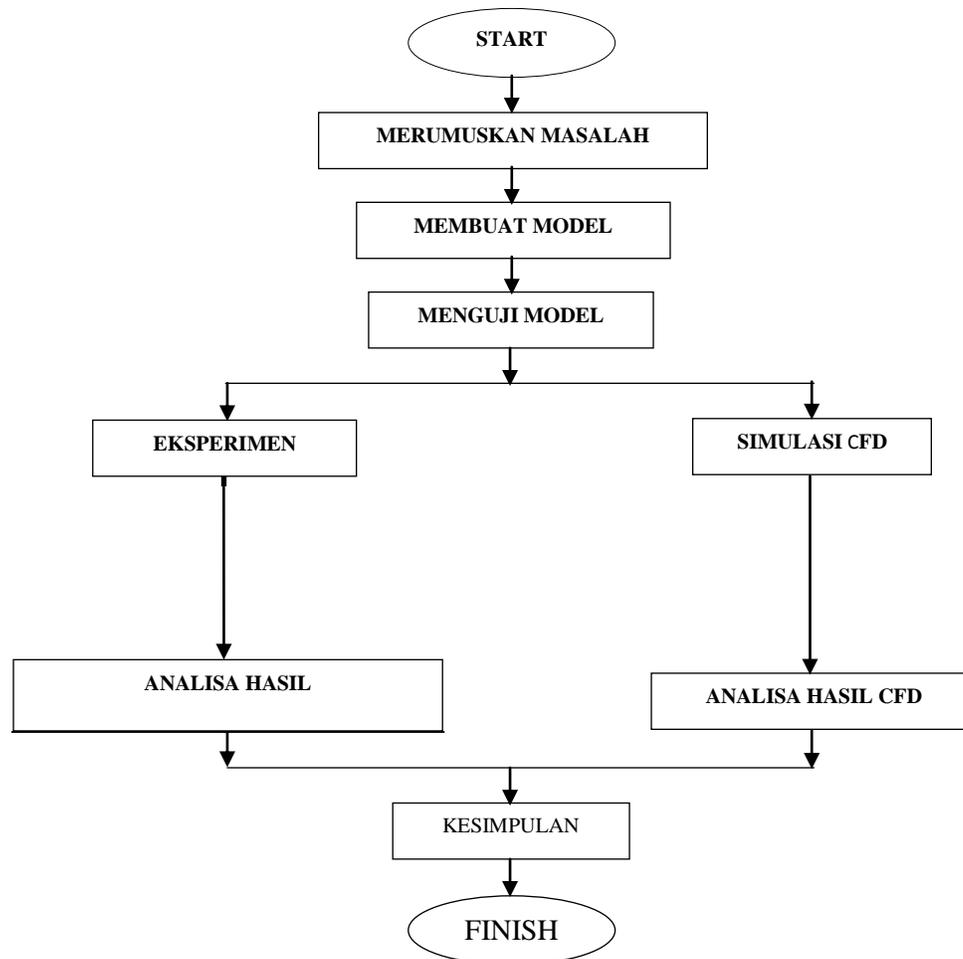
Michael dkk [2] melakukan analisa tentang karakteristik separasi aliran pada *forward facing step*, hasilnya adalah panjang *reattachment* cenderung meningkat pada bilangan *Reynolds* dengan rasio \bar{z}/h . Selanjutnya

Barbosa dkk [3] dalam kajian menemukan bahwa nilai dari *reattachment line*, *separation line* dan profil kecepatan akan berbeda dengan perbedaan dari bilangan *Reynolds*. Dalam penelitian ini dihasilkan bahwa zona re-sirkulasi terbesar didapatkan pada aliran dengan bilangan reynold terbesar ($RE = 800$) dan zona re-sirkulasi terkecil terdapat pada aliran dengan bilangan *Reynolds* yang terkecil ($Re = 200$), selain itu juga peningkatan bilangan *Reynolds* juga dapat mempengaruhi pada daerah separasi alirannya. Semakin tinggi bilangan *Reynolds* maka aliran separasi yang terjadi akan semakin dekat dengan arah aliran utama.

Khudheyer dkk [4] mengungkapkan bahwa peningkatan daerah separasi sebanding dengan peningkatan bilangan *Reynolds* dan rasio kontraksi juga mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap separasi aliran.

Abdel dkk [5] membuat analisa tentang karakteristik aliran dari *asymmetric sudden contraction*, haasil dari analisa tersebut menunjukkan bahwa rasio kontraksi yang lebih kecil menghasilkan debit yang lebih kecil. Rasio kontraksi yang kecil juga menyebabkan kehilangan energi yang lebih besar dibandingkan kontraksi rasio yang besar.

2. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.1 Metode Eksperimen

Metode eksperimen ini digunakan untuk mengukur tekanan statis pada permukaan dari *sudden contraction channel*. Dilakukan pengukuran tekanan terhadap *pressure tap* yang telah dibuat dalam alat uji. Dengan menghubungkan *pressure tap* dengan pipa-pipa manometer menggunakan selang dengan diameter 3 mm. Hasil yang terbaca dalam manometer berupa beda ketinggian pada pipa sebelum dan sesudah apparatus dioperasikan.

Pada penelitian *sudden contraction* yang dilakukan, spesimen uji yang digunakan terbuat dari *stainless steel* dengan dimensi penampang inlet (A_i) = 50 x 100 mm², penampang exit (A_e) = 50 x 60 mm², panjang upstream (L_u) = 180 mm, panjang downstream (L_d) = 200 mm, *contraction ratio* (CR) = 5:3. Sepanjang permukaan dibuat pressure tap berdiameter dalam (d_{tube}) = 2 mm.

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Thermofluida, Jurusan Teknik Mesin UNDIP menggunakan *Airflow Bench AF 10A* seperti pada Gambar 2. Alat ini adalah jenis *open 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 kedalam model test.

Tabel 1. Menunjukkan tekanan awal pengukuran.

Volt (V)	U_{udara} (m/s)	P_{total} (pascal)	P_{statis} (pascal)	Reynold
85	30.05	490	49	126000
95	31	650	49	134000
145	34	749	74	142000



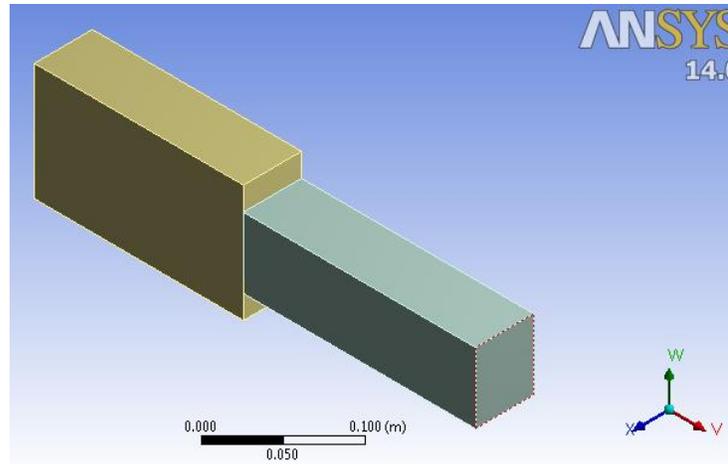
Gambar 2. AIR FLOW BENCH AF 10A

2.2 Simulasi CFD

Computational fluid dynamics atau yang biasa disebut dengan CFD adalah suatu alat bantu yang dapat 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.

2.2.1. Diskripsi Model

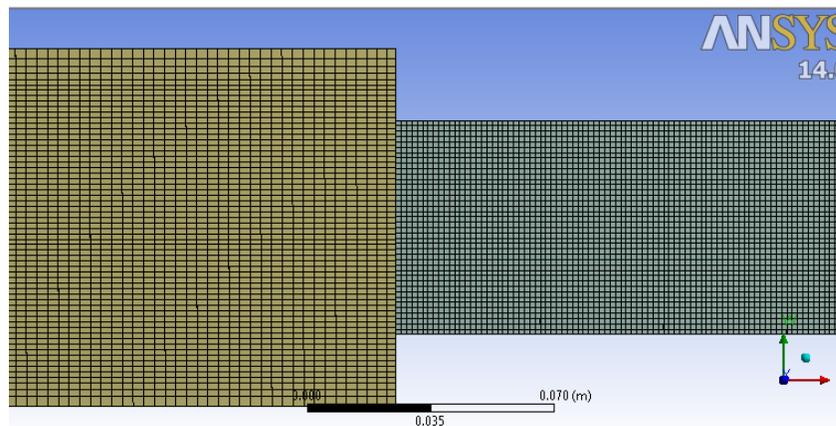
Model yang digunakan adalah pipa *sudden contraction* dengan luas penampang inlet adalah 100 x 50 mm² dan penampang outlet 60x50 mm². Panjang dari pipa *sudden contraction* adalah 380 mm seperti pada Gambar 3. aliran fluida yang masuk adalah udara dengan temperature 303K. Fluida mengalir dalam pipa dengan kecepatan antara 30 sampai 34 m/s.



Gambar 4. Gambar pipa *sudden contraction*

2.2.2. Penggenerasian Mesh

Meshing yang digunakan adalah *automatic* dengan ukuran element size 0.003m pada bagian upstream dan 0.0015 pada bagian downstream. Pada bagian contact region yaitu daerah kontak antara bagian upstream dengan downstream dibuat contact sizing dengan ukuran 0.0015m. Gambar . 4 menunjukkan meshing pada pipa.



Gambar 5. Meshing pada pipa

2.3 Simulasi ANSYSFLUENT

Simulasi ada ANSYSFLUENT 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.
- Melakukan pengecekan *grid*.
- Menentukan formulasi solver dan model fisik permasalahan (misalnya jenis aliran 2D laminar/turbulen, inviskos, *steady* dan melibatkan perpindahan panas atau tidak).
- Menentukan jenis dan sifat material.
- Menentukan kondisi batas model yang dibuat.
- Menentukan parameter kendali solusi (*solution control*)
- Melakukan tebakan awal (*initialize*) medan aliran
- Melakukan proses perhitungan (iterasi)
- Melakukan *postprocessing* dengan menampilkan nilai dan Gambar kontur.

Adapun kondisi batas pada permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Batas Pipa *Sudden Contraction*

parameter	Sisi inlet			Sisi outlet
	575 pascal	650 pascal	749 pascal	
Tekanan total	575 pascal	650 pascal	749 pascal	
Tekanan statis	49 pascal	49 pascal	74 pascal	
<i>Turbulent intensity</i>	3.6			3.6
Hidraulic diameter	0.067			0.055

2.4 Penentuan Solusi

Pemilihan model solusi yang digunakan dalam proses simulasi ini menggunakan model solusi seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Model solusi dalam simulasi

<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>

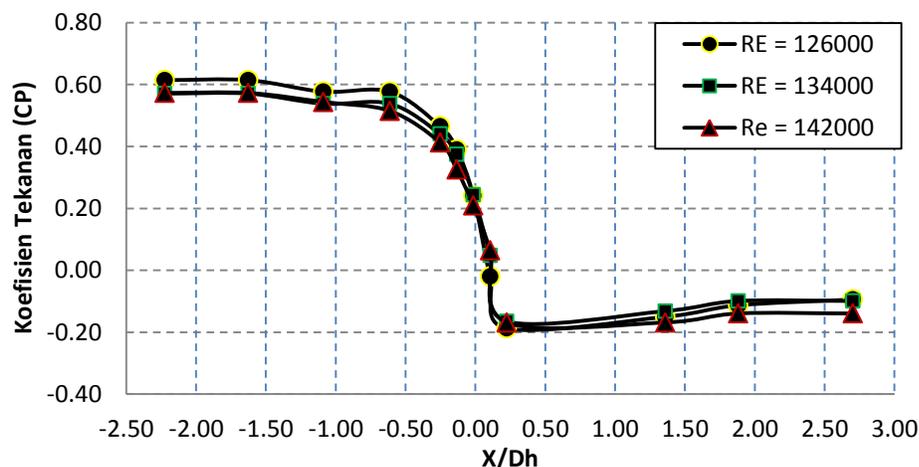
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik distribusi tekanan untuk melihat, kondisi pemulihan tekanan, dengan menganalisa pada hasil eksperimental, yang nantinya dibandingkan dengan hasil dari simulasi.

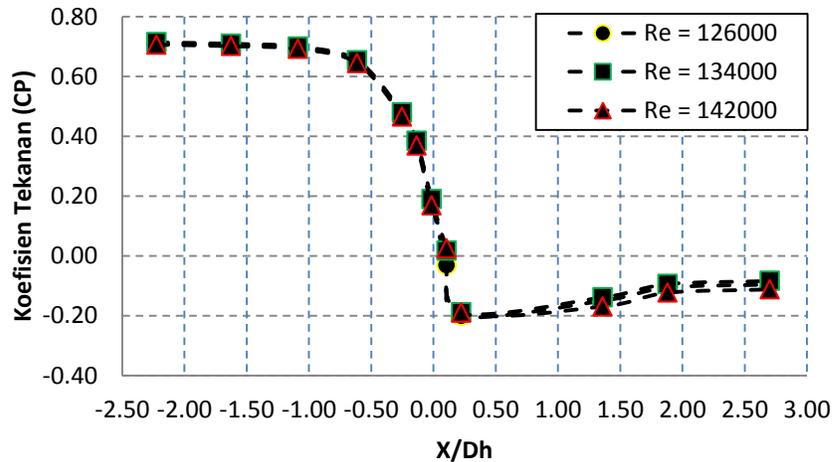
3.1 Distribusi Tekanan pada Pipa *Sudden Contraction* pada $Y/D_h = 0.06$

Gambar 6 dan 7 menunjukkan grafik distribusi koefisien tekanan pada permukaan pipa *sudden contraction* dengan menggunakan metode eksperimen. Sumbu X menunjukkan letak point dalam X/D_h yang dihitung dari titik tengah dari pipa. Sumbu Y menunjukkan besar koefisien tekanan dari pipa.

Dalam grafik diketahui koefisien tekanan fluida yang masuk pipa cenderung tetap karena fluida belum mulai mengalami separasi. Koefisien tekanan mulai mengalami penurunan pada X/D_h -1.5 sampai -1.09. Kemudian aliran mengalami sedikit *recovery* tekanan pada range -1.09 sampai -0.69. Saat memasuki daerah *sudden*, terjadi penurunan tekanan yang tajam pada X/D_h -0.5 sampai 0.22. hal ini dikarenakan terjadi efek *nozzle* pada aliran primer dari fluida sehingga koefisien tekanannya mengalami penurunan. Momentum aliran yang cukup kuat untuk mengatasi gaya viskos fluida dan energi kinetis aliran meningkat sehingga mampu membawa aliran dalam kondisi *favorable*, dimana tekanan mengalami penurunan arah aliran di daerah *sudden contraction*. Kemudian aliran mengalami *recovery* tekanan pada daeran *downstream*.



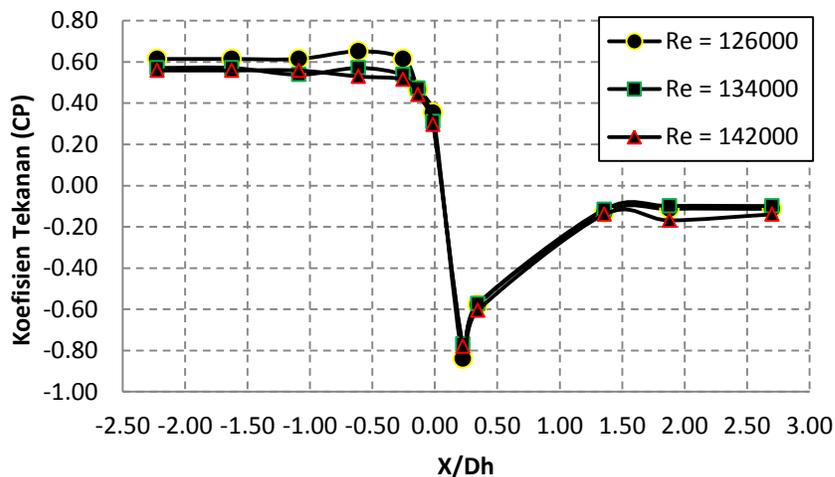
Gambar 6. Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* pada dengan menggunakan metode Ekeperimen.



Gambar 7. Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* pada dengan menggunakan metode Numerik.

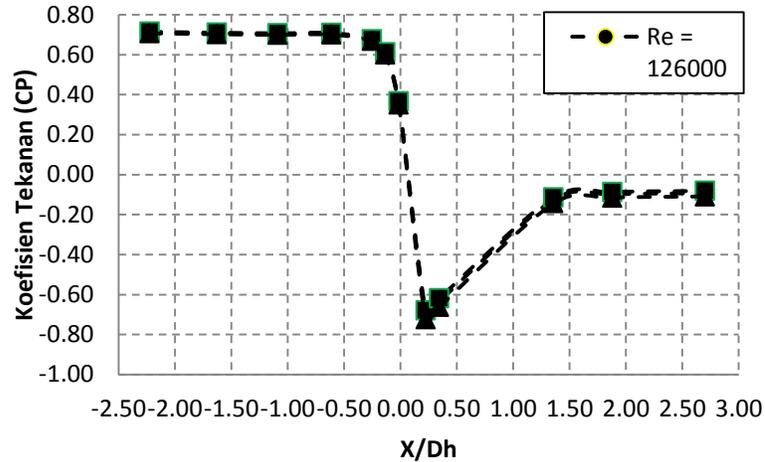
Gambar 8 dan 9 menunjukkan distribusi tekanan pada *surface contraction*. Grafik dibuat dengan menggunakan data-data hasil eksperimen. Tekanan aliran cenderung constant karena diprediksi aliran belum mengalami effect nozzle yang bisa menyebabkan penurunan tekanan pada aliran fluida. Kemudian terjadi penurunan yang sangat tajam sampai pada titik minimumnya pada X/Dh 0.22. Hal ini menunjukkan momentum aliran cukup kuat untuk mengatasi gaya viskos aliran. Energi kinetis aliran meningkat cukup signifikan sehingga mampu membawa aliran dalam kondisi *favorable*, dimana tekanan mengalami penurunan arah aliran.

Pada daerah ini mometum aliran sangat besar sehingga energi kinetis aliran cukup kuat untuk mengalir memasuki daerah *favorable pressure gradien*. Kemudian aliran mengalami kenaikan takan akibat *recovery* aliran dari titik X/Dh 0,22 sampai X/Dh 1.36 dan kemudian aliran terseparasi.

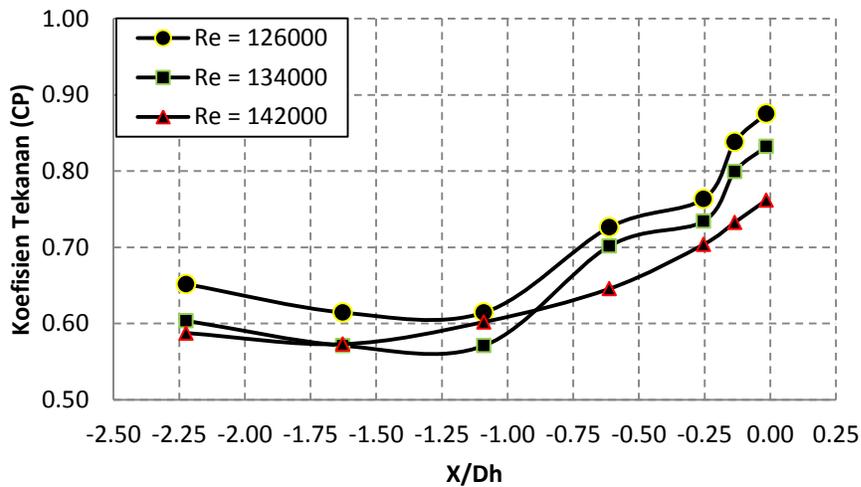


Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* dengan menggunakan metode Eksperimen.

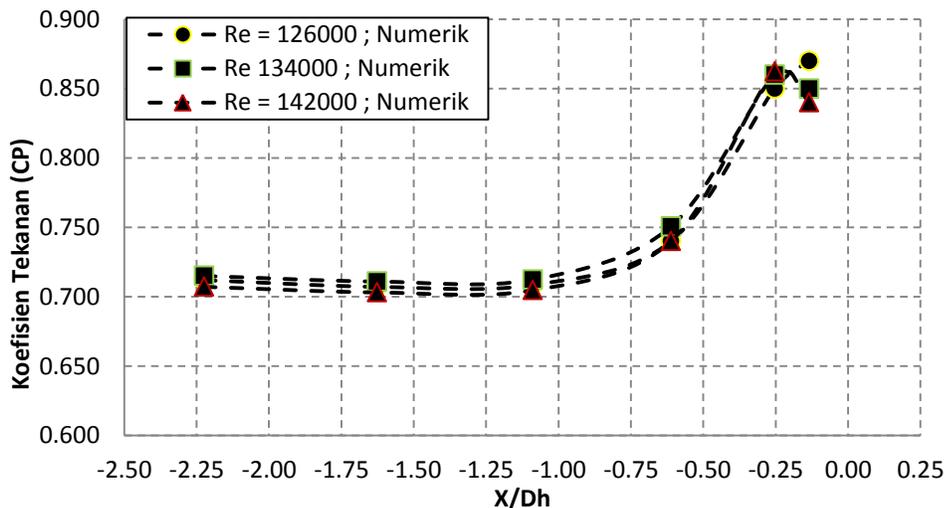
Gambar 10 dan 11 menunjukkan grafik distribusi tekanan pada daerah dekat dinding di *upstream region* yaitu pada Y/Dh 0.72. kemudian aliran fluida mengalami kenaikan tekanan. Diprediksi kenaikan tekanan karena fluida mengalami separasi pada daerah dekat dinding di *upstream region*.



Gambar 9. Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* dengan menggunakan metode Numerik.



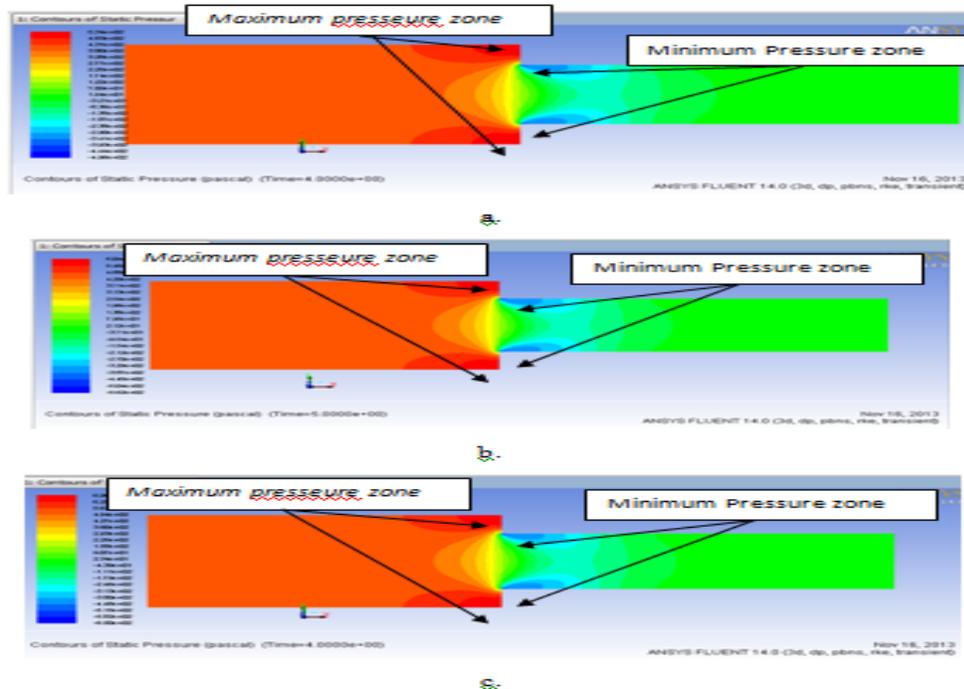
Gambar 10. Grafik Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* dengan menggunakan metode Eksperimen.



Gambar 11. Distribusi Koefisien Tekanan di Permukaan *Surface Contraction* dengan menggunakan metode Numerik.

3.2. Analisa kontur tekanan pada pipa *sudden contraction*

Pada Gambar 12 Menunjukkan kontur tekanan dari pipa *sudden contraction*. Gambar 12 menunjukkan kontur tekanan untuk bilangan *Reynolds* 126000, 4.10b untuk bilangan *Reynolds* 134000 dan 4.10 c untuk bilangan *Reynolds* 142000. Pada gambar terlihat bahwa aliran masuk pipa dalam keadaan tekanan seragam lalu aliran mengalami penurunan tekanan ketika memasuki daerah *sudden*, kemudian terjadi penurunan tekanan yang tajam ketika masuk *sudden* lalu tekanan mengalami *recovery* dan terseparasi. Pada Gambar 4.10 terlihat juga bahwa daerah tekanan tinggi terletak pada daerah *silent corner*, pada daerah ini diprediksi aliran mengalami resirkulasi. Zona tekanan rendah terjadi pada daerah *downstream* dekat *tip corner*. Pada daerah *silent corner* juga diprediksi aliran menalami separasi aliran yang di tandai dengan peningkatan tekanan dari aliran. Sedangkan zona *reattachment* terjadi pada daerah setelah *tip corner* yang ditandai dengan *recovery* aliran fluida.

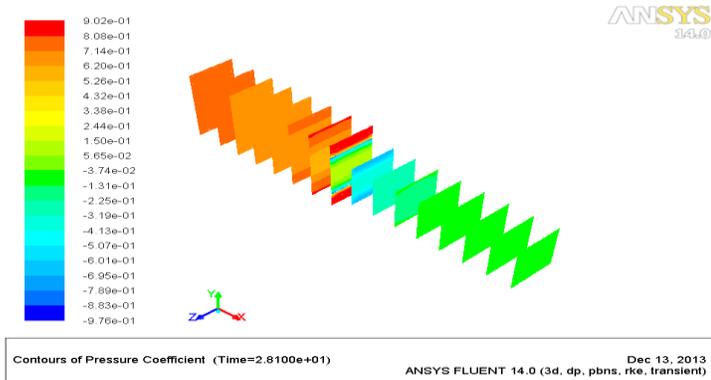


Gambar 12. Kontur tekanan untuk variasi bilangan Reynold a. 126000, b. 134000, c. 142000

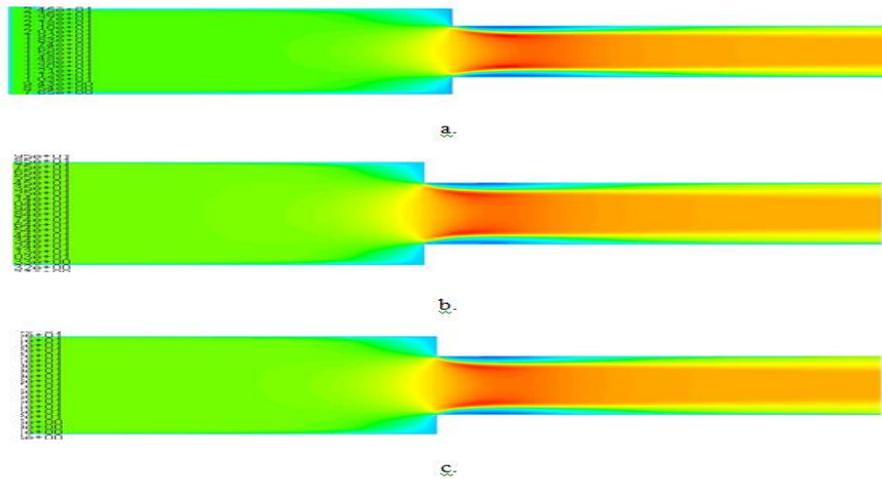
Gambar 13 memperlihatkan distribusi kecepatan dalam bentuk 3 dimensi untuk bilangan Reynold 134000. Pada gambar terlihat distribusi kecepatan yang seragam pada sisi masuk inlet dan kemudian mengalami kenaikan kecepatan sampai mendekati daerah *sudden*. Peningkatan kecepatan ini disebabkan ksrena efek *nozzle* yang dialami oleh fluida. Kecepatan akan naik sampai mencapai daerah *sudden* lalu aliran akan mengalami penurunan kecepatan. Fluida akan terus mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai posisi stabil.

Gambar 14 menunjukkan distribusi kecepatan pada pipa *sudden contraction*. Kecepatan aliran fluida yang masuk kedalam pipa berada pada kondisi *uniform*. Ketika fluida memasuki daerah *sudden* kecepatan aliran meningkat. Efek *nozzle* menyebabkan fluida mengalami peningkatan secara signifikan sampai pada daerah *vena contracta*. Kemudian setelah fluida mencapai daerah *vena contracta*. Terjadi penurunan kecepatan karena kenaikan tekanan yang dialami fluida. Penurunan tekanan ini terjadi sampai fluida mencapai keadaan stabil.

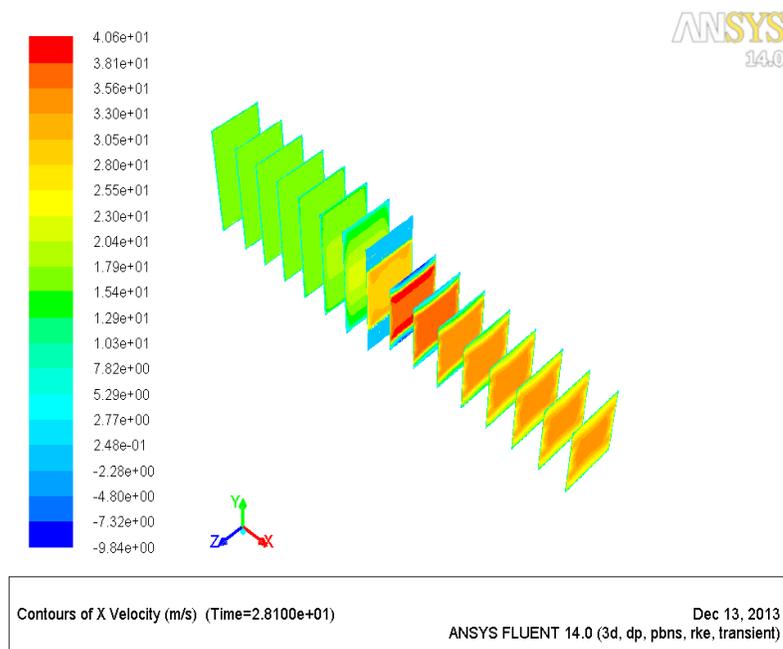
Gambar 15 memperlihatkan distribusi kecepatan dalam bentuk 3 dimensi untuk bilangan Reynold 134000. Pada gambar terlihat distribusi kecepatan yang seragam pada sisi masuk inlet dan kemudian mengalami kenaikan kecepatan sampai mendekati daerah *sudden*. Peningkatan kecepatan ini disebabkan ksrena efek *nozzle* yang dialami oleh fluida. Kecepatan akan naik sampai mencapai daerah *sudden* lalu aliran akan mengalami penurunan kecepatan. Fluida akan terus mengalami penurunan kecepatan hingga mencapai posisi stabil.



Gambar 13. Kontur tekanan 3 dimensi pipa *sudden contraction* untuk $Re = 134000$.



Gambar 14. Kontur kecepatan untuk variasi bilangan Reynold a. 126000, b. 134000, c. 142000.



Gambar 15. Kontur kecepatan pipa *sudden contraction* pada bilangan Reynold 134000.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dalam pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan tekanan akibat penyempitan luas penampang secara tiba-tiba. Pada daerah *upstream* tekanan cenderung konstan karena fluida belum mulai mengalami separasi. Ketika memasuki daerah *sudden*, pipa fluida mengalami penurunan tekanan yang tajam karena terjadi efek *nozzle*. Pada daerah *downstream* terjadi *recovery* tekanan yang diakibatkan Momentum aliran yang cukup kuat untuk mengatasi gaya viskos fluida dan energi kinetis aliran meningkat sehingga mampu membawa aliran dalam kondisi *favorable*.
- 2) Zona resirkulasi terjadi pada range antara $X/D_h = 0.00$ sampai $X/D_h = 1.50$. zona ini ditandai dengan penurunan tekanan aliran
- 3) Pada penelitian kali ini, bilangan *Reynolds* berpengaruh pada besar tekanan yang dimiliki oleh aliran fluida yang mengalir pada pipa. Tekanan tertinggi dicapai pada bilangan *Reynolds* 126000 sedangkan tekanan terendahnya terletak pada *bilangan Reynolds* 142000.

5. REFERENSI

- [1] J. F. Largeau V. Moriniere, 2007, *Wall pressure fluctuations and topology in separated flows over a forwards-facing step*, Laboratoire d'Etudes Aerodynamiques (UMR CNRS 6609), Bat. K, 40 av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex, France.
- [2] Michael John Sherry, David Lo Jacono, Jhon Sheriden, 2009, *Flow Separation Characterisation of a Forward Facing Step Immersed in a Turbulent Boundary Layer*, Fluids Laboratory for Aerospace and Industrial Engineering, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University, Victoria.
- [3] J. G. Barbosa Saldana, P. Quinto Diez, F. Sanchez Silva, and I. Carvajal Mariscal, 2007, *Numerical simulation for the flow structures following a three-dimensional horizontal forward-facing step channel*, LABINTHAP, Unidad Profesional Adolfo Lopez Mateos, Mexico City, Mexico.
- [4] Khudheyer S. Mushate, 2007, *Study of 2-D Laminar Flow In A pipe With A sudden Contraction of Cross Sectional Area*, Dept. of Mechanical Engineering, UOT., Baghdad-IRAQ.
- [5] Abdel-Azim M. Negm, 2001, *Flow Characteristics at Asymmetric Sudden Contraction*, Associate Professor, Dept. of Water & Water Structures Eng., Faculty of Engineering, Zagazig University, Zagazig, Egypt.