



STUDI NUMERIK EVALUASI SUDUT DIVERGENSI TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DI DALAM SYMMETRIC FLAT-WALLED DIFFUSER

Rizka Nur Faila

Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

Alamat: Jl. A. Yani No 10 Bojonegoro

Korespondensi penulis : rizkanur452@gmail.com

Abstract. Diffuser is one of the construction that is able to control the behavior of the fluid. Adverse pressure gradient (APG) causes boundary layer develops rapidly so that it causes separation and C_p becomes low. So that need to evaluating divergence angle of diffuser to delay the separation to get optimization C_p of diffuser. This study uses a numerical method with software Fluent 6.3.26 with $k-\omega$ turbulence model of shear stress transport (SST) for evaluate in a symmetric flat-walled diffuser with constant ratio in divergence angle $(2\theta_1) = 8^\circ$ and used the Reynolds number 12.9×10^4 . Test section consisted of three parts, namely symmetric diffuser, upstream channels, and downstream channels. The symmetric diffuser has a length $(L_1) = 500$ mm, the upstream channel length $(L_2) = 500$ mm, and the downstream channel has a length $(L_3) = 1000$ mm. The results of the study showed that there is no flow separation on the field at midspan vertical diffuser $(2\theta_1) = 8^\circ$. However, based on the velocity vector visualization, flow separation can be observed at midspan plane horizontal to diffuser $(2\theta_1) = 8^\circ$ indicated the occurrence of separation in the area after the inlet diffuser, ie at $x/L_1 = 1.4$ and $x/L_1 = 1.6$

Keywords: adverse pressure gradient, aspect ratio, symmetric flat-walled diffuser

Abstrak. Difuser merupakan salah satu konstruksi yang mampu mengendalikan perilaku fluida. Adverse pressure gradient (APG) menyebabkan boundary layer berkembang dengan cepat sehingga dapat mengakibatkan separasi aliran dan C_p menjadi rendah. Untuk menunda separasi perlu dievaluasi penelitian lebih lanjut tentang diffuser dengan modifikasi sudut bukaan untuk optimasi nilai koefisien tekanan (C_p) difuser. Simulasi pemodelan menggunakan software Computational Fluid Dynamic dengan $k-\omega$ shear stress transport (SST) turbulence model untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida pada symmetric flat-walled diffuser dengan aspek ratio konstan pada sudut divergensi $(2\theta_1) = 8^\circ$ pada bilangan Reynolds 12.9×10^4 . Geometri pemodelan terdiri dari 3 bagian yaitu symmetric difuser memiliki panjang $(L_1) = 500$ mm, upstream channel memiliki panjang $(L_2) = 500$ mm, dan downstream channel memiliki panjang $(L_3) = 1000$ mm. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa tidak terjadi separasi aliran pada bidang midspan vertikal pada sudut bukaan diffuser $(2\theta_1) = 8^\circ$. Namun berdasarkan visualisasi vektor kecepatan, separasi aliran dapat diamati pada bidang midspan horizontal untuk sudut bukaan difuser $(2\theta_1) = 8^\circ$ ditunjukkan terjadinya separasi pada daerah setelah inlet diffuser, yaitu pada $x/L_1 = 1.4$ hingga $x/L_1 = 1.6$.

Kata kunci: adverse pressure gradient, aspect ratio, symmetric flat-walled diffuser

LATAR BELAKANG

Difuser merupakan sebuah saluran tertutup yang mengalami pembesaran luas penampang kearah melintang sepanjang arah aliran fluida. Pembesaran luas penampang diffuser menyebabkan aliran fluida mengalami penurunan kecepatan yang berakibat meningkatnya tekanan aliran. Peningkatan tekanan tersebut menyebabkan terjadinya *adverse pressure gradient* (APG) yang berpengaruh terhadap perkembangan *boundary layer*. Semakin besar APG yang terjadi maka aliran semakin mudah terseparasi. Separasi yang terjadi akan menurunkan nilai koefisien tekanan (*pressure coefficient*, C_p) dan nilai *pressure recovery coefficient* (C_{pr}) yang mengakibatkan performa difuser akan menurun.

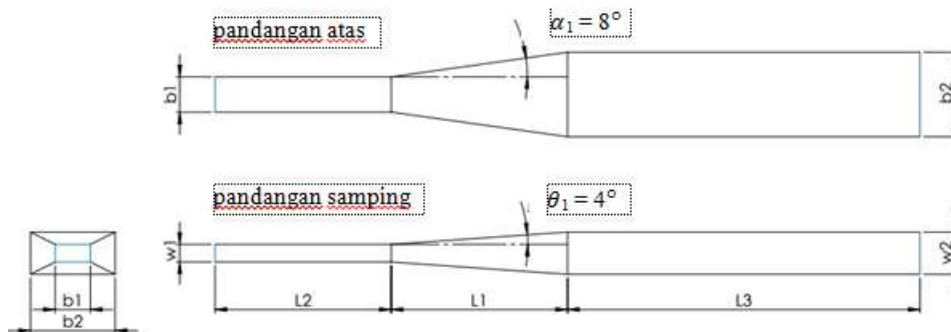
KAJIAN TEORITIS

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui perkembangan *boundary layer* aliran di dalam *flat-walled diffuser*, termasuk penundaan terjadinya separasi untuk memperoleh C_p yang lebih tinggi. Harbangan melakukan penelitian tentang pengaruh aspek rasio dengan penambahan *splitter* pada *symmetric flat-walled diffuser* untuk sudut divergensi $(2\theta) = 20^\circ$. Pada penelitiannya digunakan dua konfigurasi pembagian diffuser dengan 1 *splitter* dan 2 *splitter*. Hasilnya diperoleh peningkatan C_{pr} untuk kedua konfigurasi tersebut, dimana peningkatan C_{pr} pada difuser dengan 2 *splitter* lebih tinggi daripada diffuser dengan 1 *splitter*.

El-Behery dan Hamed melakukan penelitian secara numerik menggunakan software Fluent 6.3.26. Penelitian dilakukan pada *asymmetric flat-walled diffuser* 10° . Penelitian bertujuan untuk membandingkan distribusi *pressure coefficient* dengan hasil eksperimen yang sebelumnya telah dilakukan oleh Obi et al, Buice dan Eaton serta penelitian Kaltenbach. Model yang digunakan pada penelitian numerik sama dengan test section yang digunakan Buice dan Eaton dengan menggunakan 6 buah *turbulence model*, Dari penelitian ini didapatkan untuk *shear stress transport k- ω SST* memiliki hasil yang mendekati hasil eksperimen. Rahmawati melakukan penelitian pada *symmetric flat-walled diffuser* dengan rasio b/W konstan yang memiliki sudut divergensi $(2\theta) = 10^\circ$. Dari penelitian ini didapatkan bahwa peningkatan bilangan *Reynolds* sebesar 48,3% belum mampu secara signifikan untuk menunda terjadinya separasi.

METODE PENELITIAN

Simulasi pemodelan menggunakan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Pada metode numerik ini ada tiga tahapan utama yang harus dilakukan, antara lain: *preprocessing, processing dan postprocessing*. Adapun geometri dari *symmetric flat-walled diffuser* dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



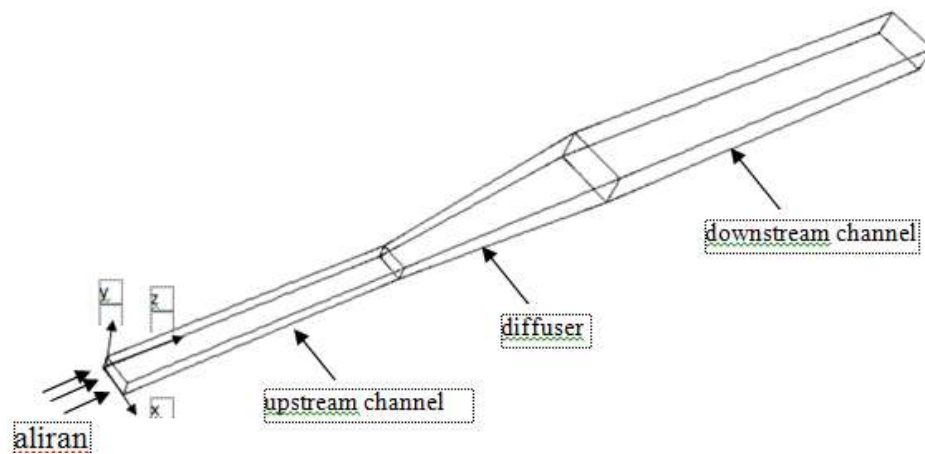
Gambar 1 Geometri difuser ($2\theta_1 = 8^\circ$)

Spesifikasi dari geometri pemodelan ini dapat diuraikan sebagai berikut:

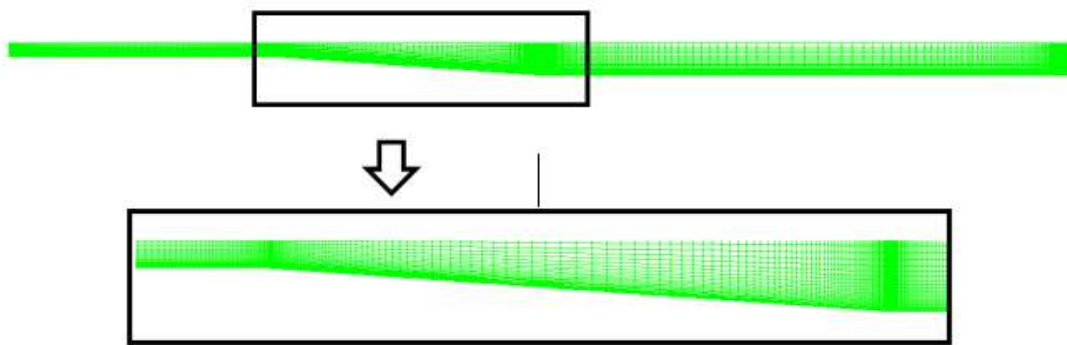
- Panjang diffuser (L1) : 500 mm
- Panjang upstream channel (L2) : 500 mm
- Panjang downstream channel (L3) : 1000 mm
- Lebar span inlet (b1) : 100 mm
- Lebar span outlet (b2) : 240 mm
- Lebar span outlet (b3) : 312 mm
- Tinggi inlet (W1) : 50 mm
- Tinggi outlet (W2) : 120 mm
- Tinggi outlet (W3) : 155 mm

Pemodelan *symmetric flat-walled diffuser* dilakukan dengan membuat domain geometri seperempat bagian untuk mengurangi jumlah mesh sehingga dapat mempersingkat waktu simulasi. Pemodelan simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*) sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen kecil tersebut. Pada

pemodelan 3D digunakan *Hexahedral-map*. *Grid mesh* 3D pemodelan tersebut ditunjukkan pada gambar 4 Penentuan *boundary condition* dapat dilihat pada gambar 5.

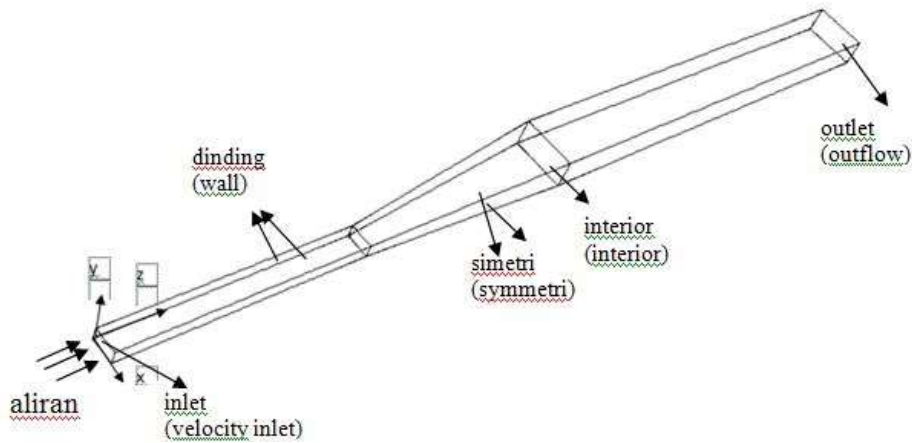


Gambar 3 Pemodelan Simulasi



Gambar 4 *Meshing* Difuser

Boundary Conditions merupakan penentuan parameter-parameter dan batasan yang mungkin terjadi pada aliran. Daerah inlet merupakan *upstream channel inlet* dan outlet adalah *downstream channel outlet*. Pada daerah inlet diasumsikan sebagai *velocity inlet* dengan nilai kecepatan ditentukan dari penelitian Rahmawati yaitu sebesar 39,9 m/s yang bersesuaian dengan bilangan *Reynolds* $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$. Sedangkan *outlet* adalah *outflow*, *wall* merupakan batasan semua dinding difuser, dan bagian sisi *centerline* diberi kondisi batas simetri. *Post processing* merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh berupa distribusi profil kecepatan, kontur kecepatan, distribusi C_p , kontur tekanan, dan distribusi C_f .



Gambar 5 *Boundary Condition*

HASIL DAN PEMBAHASAN

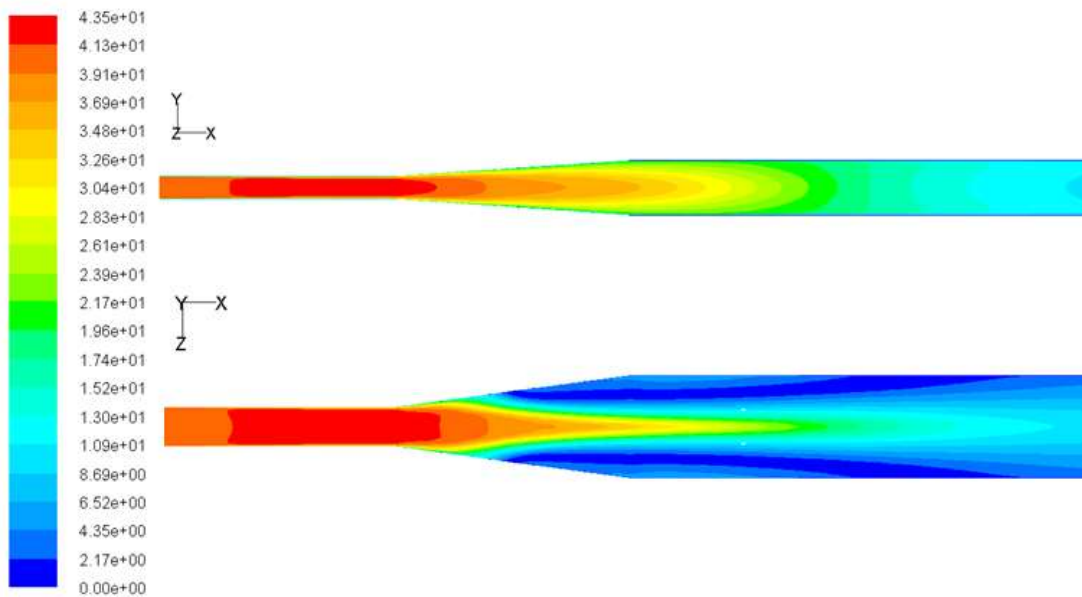
ANALISA *GRID INDEPENDENCY*

Grid independency dilakukan dengan melakukan simulasi beberapa jumlah cell dalam mesh dengan kondisi batas yang sama. Nicholas bahwa *finest grid* tidak didasarkan pada jumlah grid terbesar namun pada jumlah grid dimana perubahan nilai yang ditinjau tidak berubah secara signifikan. Pada dua variasi *mesh* yang memiliki perbedaan nilai yang tidak signifikan tersebut maka akan dipilih jumlah mesh dengan total grid yang paling sedikit dengan tujuan untuk memaksimalkan efektifitas penggunaan memori dan waktu *running*. Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi beberapa mesh untuk *grid independensi* difuser $2\theta_1 = 8^\circ$ dengan membandingkan parameter koefisien tekanan (C_p) pada $x/L_1 = 2$. Dari tabel 1 dipilih *meshing* C dengan $y^+ \approx 1.832$.

Tabel 1 Analisa *grid independency* koefisien tekanan pada posisi centerline ($x/L_1 = 2$) pada $(2\theta_1) = 8^\circ$

<i>Meshing</i>	<i>Total Grid</i>	$C_p (x/L_1 = 2)$	y^+
A	67320	0.2129	3.028
B	186338	0.2511	2.460
C	359875	0.3002	1.832
D	653547	0.3058	1.168

ANALISA KONTUR KECEPATAN

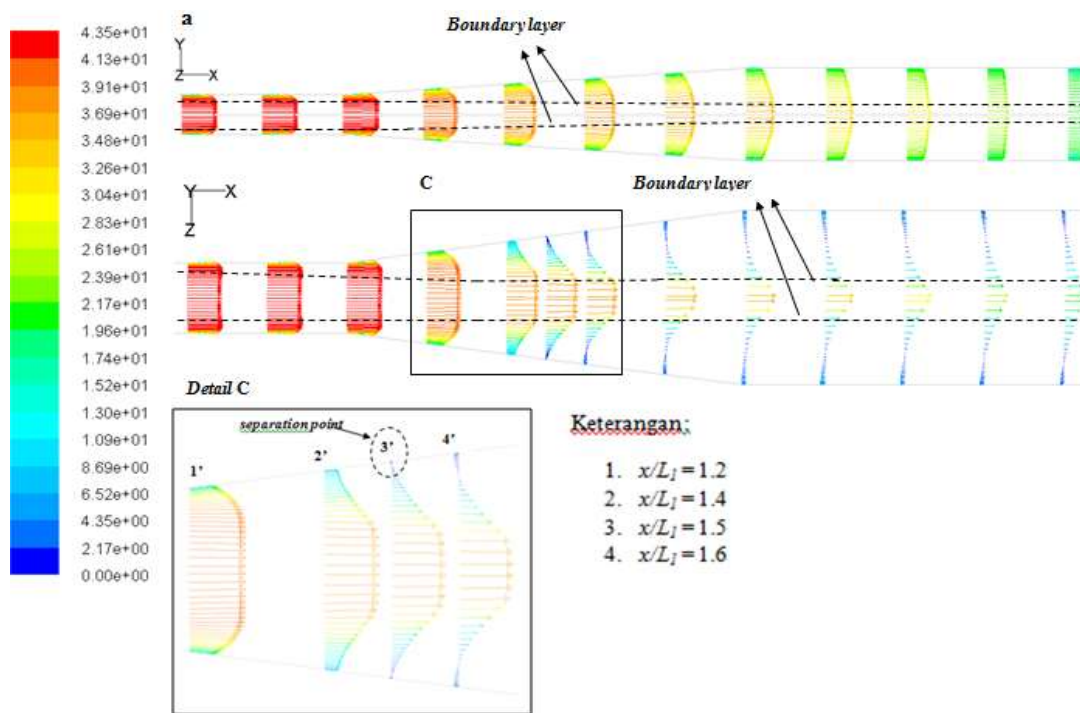


Gambar 6 Kontur kecepatan di dalam *symmetric flat-walled diffuser* ($2\theta_1$) = 8° hasil numerik untuk $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ (*mapping* dengan *velocity magnitude* dalam m/s)

Berdasarkan visualisasi kontur kecepatan pada gambar 6 untuk sudut bukaan yang berbeda pada $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ belum dapat diperoleh informasi yang cukup mengenai terjadinya separasi aliran pada *wall*. Terlihat bahwa pada sudut bukaan difuser ($2\theta_1$) = 8° untuk midspan bidang vertikal tidak menunjukkan adanya separasi. Sedangkan tampilan kontur kecepatan pada midspan bidang horizontal menunjukkan daerah dengan kecepatan rendah yang berwarna biru tua pada daerah dekat dinding. Fenomena ini menjelaskan bahwa aliran fluida di dekat dinding samping mengalami defisit momentum dan aliran dengan kecepatan tinggi seakan terdesak ke bagian core dari diffuser. Meskipun tampak adanya defisit momentum di daerah dekat dinding, tetapi belum dapat disimpulkan bahwa terjadi separasi aliran pada dinding samping diffuser. Data kontur kecepatan tidak dapat memberikan informasi mengenai terjadinya separasi dan *backflow* karena data tersebut tidak memuat mengenai arah dari aliran fluida. Fenomena yang sama terjadi untuk Re lebih rendah.

ANALISA VEKTOR KECEPATAN & PATHLINE

a. Vektor Kecepatan



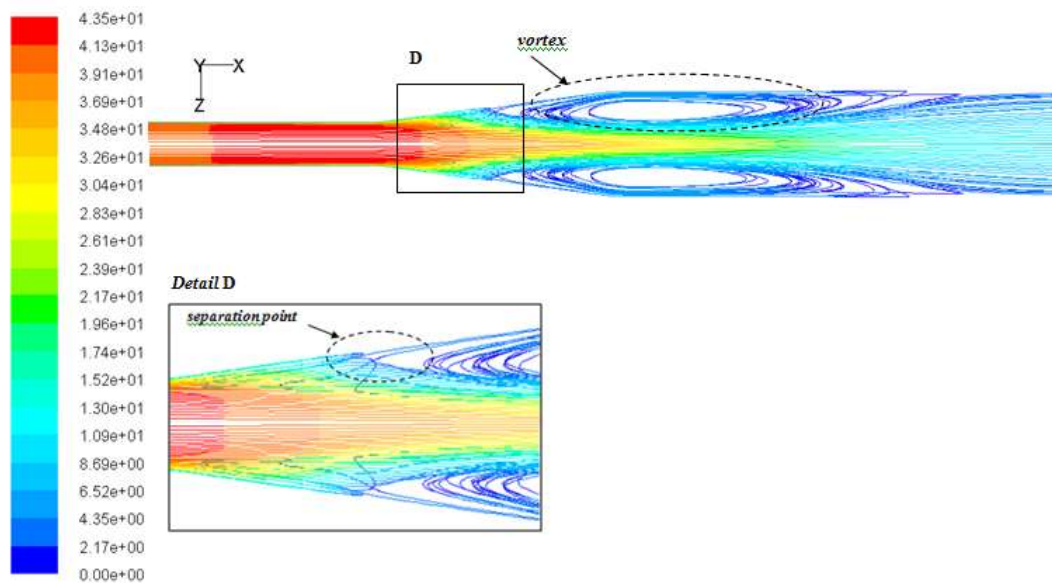
Gambar 7 Vektor kecepatan di dalam *symmetric flat-walled diffuser* ($2\theta_1$) = 8° hasil numerik untuk $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ (*mapping* dengan *velocity magnitude* dalam m/s)

Gambar 7 untuk bidang x-y, menunjukkan bahwa pada bidang midspan vertikal tidak terlihat adanya vektor kecepatan ke arah kebalikan *stream wise* (arah sumbu x negatif). Aliran yang melawan arah *stream wise* tersebut biasa disebut *backflow*. Fenomena tidak ditemukannya *backflow* ini membuktikan bahwa pada bidang vertikal tidak terjadi separasi. Hal ini dikarenakan proses pengambilan kontur kecepatan bidang vertikal di atas dilakukan pada bidang midspan.

b. Pathline

Tampilan *pathline* dapat menjelaskan lebih lanjut mengenai fenomena terjadinya separasi aliran pada midspan bidang horizontal untuk sudut bukaan ($2\theta_1$) = 8° . Gambar 8 menunjukkan visualisasi *pathline* untuk sudut bukaan *diffuser* ($2\theta_1$) = 8° pada $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$. Terjadinya *backflow* dan separasi dapat diketahui dari tampilan *pathline* dan vektor kecepatan. Pada kedua bilangan *Reynolds*, separasi terjadi secara *massive* dan ini menyebabkan terbentuknya *vortex* yang besar. *Vortex* merupakan terjadinya sebuah sirkulasi atau pusaran aliran yang terbentuk antara pertemuan *backflow* dengan aliran utama.

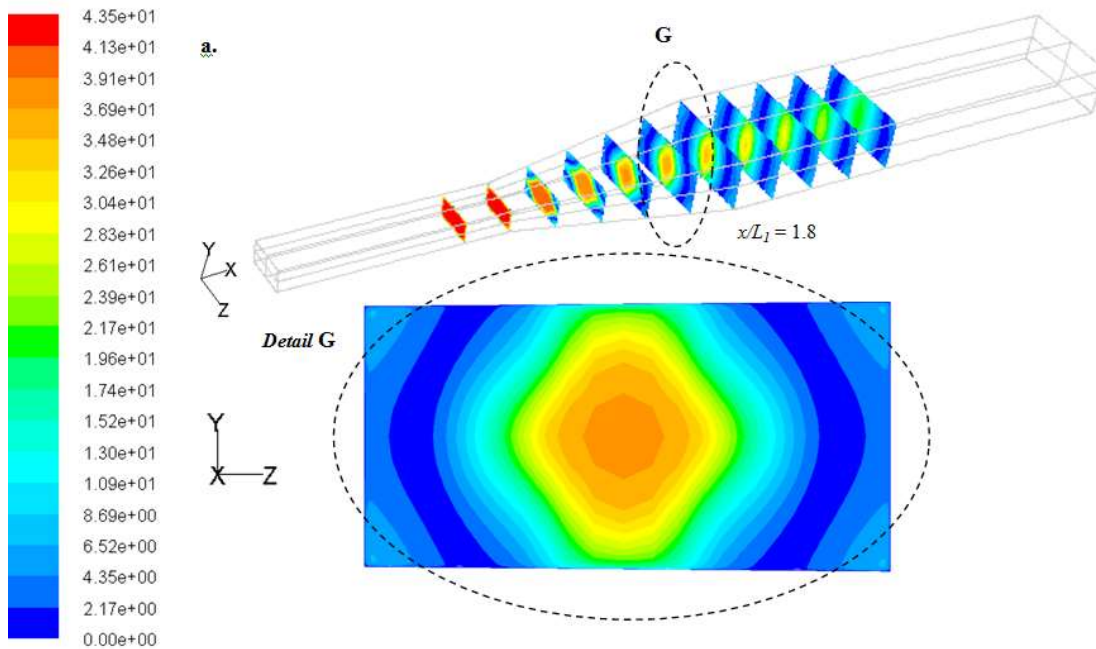
Di dalam rentang $x/L_1 = 1$ hingga $x/L_1 = 2$, aliran yang mengalir didalamnya akan memperoleh pengaruh *adverse pressure gradient (APG)* yang semakin besar. Dengan pengaruh *APG* dan juga *friction* maka aliran akan mengalami penebalan *boundary layer* yang berakibat aliran pada dinding *diffuser* mengalami defisit momentum. Adanya defisit momentum pada aliran didekat dinding dapat menyebabkan gradien kecepatan bernilai nol $\left[\frac{du}{dy} = 0\right]$. Titik ini berada pada *diverging wall* dengan nilai $\frac{du}{dy} = 0$ merupakan titik mulai terjadinya separasi (*separation point*).



Gambar 8 *Pathline* di dalam *symmetric flat-walled diffuser* ($2\theta_1$) = 8° hasil numerik untuk $Re_{W1} = 12,9 \times 10^4$ (*mapping* dengan *velocity magnitude* dalam *m/s*)

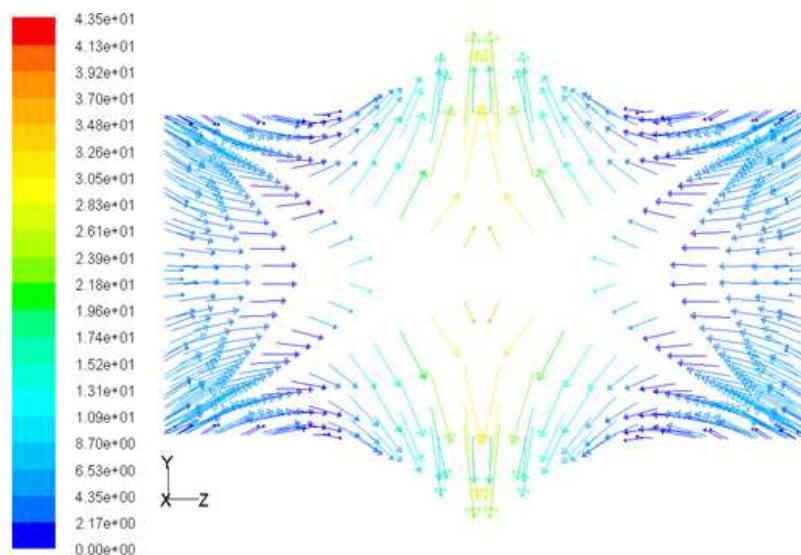
c. Aliran Sekunder

Aliran sekunder (*vortex*) merupakan aliran fluida yang terbentuk akibat separasi dan mengalir tidak searah dengan aliran primer. Fenomena terbentuknya aliran sekunder di dalam *symmetric diffuser* dapat ditunjukkan dari visualisasi studi numerik dengan tampilan kontur kecepatan pada bidang melintang terhadap aliran (bidang *y-z*). Kontur kecepatan pada bidang melintang untuk *diffuser* ($2\theta_1$) = 8° ditunjukkan pada gambar 9 untuk $Re_{W1} = 12.9 \times 10^4$.



Gambar 9 Kontur kecepatan bidang melintang $x/L_1 = 1.8$ diffuser $(2\theta_1) = 8^\circ$ hasil numerik untuk $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ (mapping dengan velocity magnitude dalam m/s)

Informasi yang lebih lengkap mengenai aliran sekunder pada bidang melintang *symmetric flat-walled diffuser* dapat dilihat dari vektor kecepatan pada bidang tersebut. Vektor kecepatan pada bidang melintang untuk *diffuser* $(2\theta_1) = 8^\circ$ ditunjukkan pada gambar 10 untuk $Re_{w1} = 12.9 \times 10^4$.



Gambar 10 Vektor kecepatan bidang melintang $x/L_1 = 1.8$ diffuser $(2\theta_1) = 8^\circ$ hasil numerik untuk $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ (mapping dengan velocity magnitude dalam m/s)

Kondisi aliran primer diperlihatkan oleh vektor yang berada pada rentang warna hijau hingga merah. Aliran primer ini memiliki orientasi utama yaitu searah aliran (stream wise, arah sumbu x positif), dengan komponen vektor arah y dan z yang tidak dominan. Sedangkan aliran sekunder dapat diamati pada vektor dengan rentang warna biru muda hingga biru tua. Pada vektor aliran sekunder tersebut terlihat bahwa arah panah vektor memiliki orientasi ke arah sumbu y, ke arah sumbu z, ataupun ke arah resultan dari kedua sumbu tersebut. Berdasarkan fenomena ini dapat dijelaskan bahwa aliran sekunder memiliki sifat bergerak sirkulasi pada arah yang berlainan dengan arah aliran utama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Aliran tidak mengalami separasi pada bidang *midspan* vertikal pada sudut bukaan *diffuser* ($2\theta_1$) = 8° dikarenakan faktor pemotongan bidang dan sudut divergensi. Berdasarkan *path line* dan vektor kecepatannya, pada *midspan* bidang horizontal untuk sudut bukaan *diffuser* ($2\theta_1$) = 8° ditunjukkan terjadinya separasi pada daerah setelah inlet *diffuser*, yaitu pada $x/L_1 = 1,4$ hingga $x/L_1 = 1,6$. Pada sudut bukaan *diffuser* ($2\theta_1$) = 8° dengan bilangan *Reynolds* $Re_{w1} = 12,9 \times 10^4$ tidak berpengaruh signifikan terhadap penundaan separasi.

DAFTAR REFERENSI

- Harbangan, W. 2009. *Study Eksperimen pengaruh Aspect Ratio dengan penambahan Splitter pada Flat-walled Diffuser dengan Sudut Divergensi 20°* . ITS, Surabaya.
- El-Behery, S.M., Hamed, M.H., 2010. *A Comparative Study of Turbulence Models Performance for Turbulent Flow in a Planar Asymmetric Diffuser*. International Journal of Mechanical Systems Science and Engineering , vol.2 no.2, 78-89.
- Rahmawati, Reny. 2012. *Studi Eksperimen Dan Numerik Karakteristik Boundary Layer Turbulen Di Dalam Symmetric 3d Flat-Walled Diffuser Dengan Rasio B/W Konstan*. ITS, Surabaya.
- Nicholas, Li Chen, Jiyuan, Brendon. 2004. *Steady State Evaluation of Two Equation RANS Turbulence Models for High Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations*. Australia.