

Studi Numerik Steady RANS Aliran Fluida di Dalam Asymmetric Diffuser

Yi Yin Klistafani^{1,a}

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10 Tamalanrea, Makassar, 90245, Indonesia

^ayi_yin_klistafani@poliupg.ac.id

Abstract—Research on fluid flow becomes a necessity to develop technology and for the welfare of human beings on earth. One of them is study of fluid flow in the diffuser. The example of diffuser application is used as a flue gas duct in the car or motorcycle. In addition, diffuser is also applied in air conditioning systems. Diffuser is a construction that able to control the behavior of the fluid. The increasing of cross section area in the diffuser will generate a positive pressure gradient or also called adverse pressure gradient (APG). The greater APG that happens, the greater energy required by the fluid to fight it, because APG will lead to separation. This study aimed to evaluate the numerical fluid flow in the asymmetric diffuser with divergence angle (θ) = 10 ° (upper wall) and widening one vertical side (α) of 20 ° (front wall). The Reynolds number is 8.7×10^4 by high inlet diffuser and the maximum velocity at the inlet diffuser. Turbulence models used are standard $k-\epsilon$, realizable $k-\epsilon$, and shear stress transport (SST) $k-\omega$. Numerical study of steady RANS used Fluent 6.3.26 software. Results of numerical visualizations show that huge vortex established in diffuser, that's why performance of diffuser is not optimal. In addition the location of separation point shown by SST $k-\omega$ is earlier than other turbulence models (standard $k-\epsilon$ and realizable $k-\epsilon$).

Keywords—Diffuser, Asymmetric, RANS, Separation

Abstrak—Penelitian mengenai aliran fluida penting dilakukan sebagai upaya dalam mengembangkan teknologi dan untuk kesejahteraan umat manusia di muka bumi. Salah satunya yaitu studi aliran fluida di dalam *diffuser*. Contoh pemanfaatan *diffuser* yaitu sebagai saluran gas buang di mobil ataupun motor. Selain itu, *diffuser* juga digunakan dalam sistem *Air Conditioning (AC)*. *Diffuser* adalah konstruksi yang mampu mengontrol perilaku fluida. Membesarnya luas penampang pada *diffuser*, mampu menghasilkan gradien tekanan positif atau juga disebut *Adverse Pressure Gradient (APG)*. Semakin besar *APG* maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan oleh fluida untuk melawannya, hal ini dikarenakan *APG* dapat memicu terjadinya separasi aliran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida (secara numerik) di dalam *asymmetric*

diffuser dengan sudut divergensi (θ) = 10 ° (dinding atas) dan pelebaran satu sisi vertikal (α) dari 20 ° (dinding depan). Bilangan Reynolds yang digunakan adalah $8,7 \times 10^4$ berdasarkan tinggi inlet dan kecepatan maksimum pada inlet *diffuser*. model turbulensi yang digunakan adalah *standard $k-\epsilon$* , *realizable $k-\epsilon$* , dan *shear stress transport (SST) $k-\omega$* . Studi numerik Steady-RANS menggunakan software Fluent 6.3.26. Hasil visualisasi numerik menunjukkan bahwa volume *vortex* yang terbentuk di dalam *diffuser* sangat besar sehingga performa *diffuser* tidak optimal. Selain itu letak titik separasi yang ditunjukkan oleh model turbulensi *SST $k-\omega$* terjadi lebih awal dibandingkan model turbulensi *standard $k-\epsilon$* dan *realizable $k-\epsilon$* .

Kata Kunci—Diffuser, Asymmetric, RANS, Separasi

I. Pendahuluan

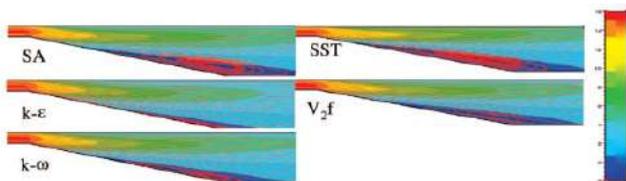
Diffuser merupakan salah satu konstruksi yang mampu mengendalikan perilaku fluida. Penindaklanjutan studi tentang karakteristik aliran fluida pada *diffuser* menjadi wajib dilakukan guna mengoptimalkan kinerja dari suatu *diffuser* dan pemakaian *diffuser* yang semakin meluas. *Diffuser* digunakan sebagai aplikasi dari bentuk saluran gas buang pada kendaraan bermotor. Selain itu *diffuser* juga berfungsi untuk mengarahkan aliran pada sistem *air conditioning (AC)*.

Konstruksi *diffuser* yang mengalami pembesaran luas kearah melintang searah dengan aliran utama fluida, memberikan potensi untuk merubah sebagian energi kinetik suatu aliran menjadi energi potensial berbasis tekanan. Namun pembesaran penampang pada *diffuser* akan menyebabkan terjadinya tekanan balik atau *adverse pressure gradient (APG)* yang berpengaruh terhadap perkembangan *boundary layer*. Semakin besar *APG* yang terjadi maka semakin besar energi yang dibutuhkan

oleh fluida untuk melawannya, oleh karena itu akan memicu terjadinya separasi. Separasi merupakan salah satu faktor yang memperburuk performa *diffuser*.

Charles dan Benoit [1] melakukan simulasi *CFD* dengan menggunakan *Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)* yang telah menjadi standard industri. Studi eksperimen Buice dan Eaton pada *asymmetric flat-walled diffuser* disimulasikan oleh Charles dan Benoit dengan menggunakan *RANS* untuk lima model turbulensi yang berbeda-beda dan dibandingkan juga dengan hasil eksperimen Obi et.al. Lima model turbulensi yang mereka pakai adalah model *Spalart and Allmaras*, *k- ϵ* , *k- ω* , *SST k- ω* , dan *v^2-f* .

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa *k- ϵ* dan *k- ω* model tidak mampu menangkap daerah resirkulasi, sementara model turbulensi dengan *Spalart-Allmaras* paling baik menangkap daerah resirkulasi, seperti yang terlihat pada gambar 1 yaitu kontur kecepatan dengan perbandingan simulasi *RANS* untuk model turbulensi yang berbeda.



Gambar 1. Kontur kecepatan dengan perbandingan simulasi *RANS* untuk model turbulensi yang berbeda pada *asymmetric* Obi *diffuser* [1].

Penelitian pada *asymmetric flat-plane diffuser* juga dilakukan oleh El-Behery dan Hamed [2]. Penelitian dilakukan secara numerik dengan menggunakan *software* Fluent 6.3.26 dan menggunakan 6 buah variasi model turbulensi, meliputi *standard k- ϵ model*, *low Reynolds number k- ϵ model*, *standard k- ω model*, *shear stress transport k- ω (SST)*, *Reynolds stress model (RSM)* dan *v^2-f turbulence model*. Bilangan *Reynolds* yang digunakan berdasarkan tinggi *inlet diffuser* dan *bulk velocity* pada *inlet diffuser* adalah 18000.

Hasil penelitian berupa distribusi *pressure coefficient* pada *upper wall* dan *lower wall*. El-Behery dan Hamed membandingkan hasil penelitian (berupa distribusi *pressure coefficient* pada *upper wall* dan *lower wall*) mereka dengan dengan hasil penelitian Obi et al,

Kaltenbach dan Buice-Eaton. Dari ke enam model turbulensi yang digunakan menunjukkan bahwa *v^2-f turbulence model* paling mendekati hasil eksperimen diikuti dengan *standard k- ω model* dan *shear stress transport k- ω (SST)*. Sedangkan untuk *standard k- ϵ model*, *low Reynolds number k- ϵ model* dan *Reynolds stress model (RSM)* memberikan hasil yang lebih buruk dalam pendekatan dengan hasil eksperimen.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa permasalahan terbesar pada *asymmetric flat-walled diffuser* yaitu pada sudut divergensi yang besar maka akan mengakibatkan *boundary layer* aliran lebih cepat berkembang dan kehilangan momentum untuk bisa mengikuti kontur dari permukaan sehingga mempercepat terjadinya separasi. Oleh karenanya sangat penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik aliran fluida di dalam *diffuser* dengan sudut divergensi ke atas yang lebih kecil yakni 10° .

Beberapa macam model turbulensi yang terdapat pada Fluent mampu memprediksi perilaku aliran di dalam *diffuser*. Sebagian besar model turbulensi tersebut berasal dari *standar k- ϵ* dan merupakan hasil variasi dari dua persamaan model turbulensi. Lima model turbulensi yang digunakan didasarkan pada *Boussinesq assumption*, dimana asumsinya yaitu berupa analogi antara *tensor viscous* dan *Reynolds-stress tensor*. Berikut ini beberapa macam model turbulensi yang terdapat didalam Fluent:

1. *Standard k- ϵ Model (SKE)*

K- ϵ model telah banyak digunakan karena cukup akurat dalam menyelesaikan kasus aliran turbulen. Menurut Launder dan Spalding [3], model ini diturunkan dengan mengasumsikan bahwa aliran dalam kondisi *fully turbulent* dan efek viskositas diabaikan. Standar *k- ϵ model* yang digunakan untuk daerah dekat dinding membutuhkan model tambahan berupa efek viskositas. Model *k- ϵ* masih memiliki kelemahan dalam mensimulasikan beberapa konfigurasi aliran, khususnya untuk aliran yang mengandung *adverse pressure gradient* atau aliran dengan turbulensi yang tidak homogen, misalnya aliran melalui *sudden expansion*, daerah stagnasi, dan aliran sekunder pada belokan pipa[4].

Berikut ini merupakan persamaan *transport* untuk *standard k-ε*:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + G_\epsilon - Y_\epsilon \quad (2)$$

2. *Realizable k-ε (RKE)*

Model turbulensi *realizable k-ε* berbeda dari model *standard k-ε* dalam dua hal penting. Perbedaan pertama yaitu *realizable k-ε* mengandung formulasi baru dalam hal viskositas turbulen, dan perbedaan kedua yaitu mengenai persamaan *transport (transport equation)* baru untuk ϵ , dengan bilangan *Prandtl* untuk ϵ , σ_ϵ , sebesar 1,3. Namun persamaan *transport* *realizable k-ε* untuk k identik dengan persamaan *transport k* milik *standard k-ε*. Model turbulensi *realizable k-ε* lebih cocok dalam memprediksi aliran yang berotasi, aliran dengan efek *adverse pressure gradient* yang besar.

3. *Shear Stres Transport k-ω (SST)*

SST k-ω model dikembangkan oleh Menter [5], yang menggabungkan kemampuan $k-\omega$ model dekat dinding dengan kemampuan dari $k-\epsilon$ model jauh dari dinding. *SST k-ω* lebih akurat dalam analisa aliran di dekat dinding dibandingkan *standard k-ω*. Berbeda dengan *standard k-ω* yang memiliki nilai bilangan *Prandtl* konstan, *SST k-ω* justru memiliki nilai yang bergantung pada nilai *blending factor (F)*. Berikut merupakan persamaan *transport* untuk *SST k-ω*:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega \bar{u}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (4)$$

dimana, S_k , S_ω merupakan *user-defined source terms* dan D_ω adalah *cross diffusion term*.

II. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode numerik dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan *software Fluent 6.3.26*. dan *software GAMBIT 2.4.6* untuk membuat model awal dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model tersebut. Prosedur yang dilakukan pada penelitian

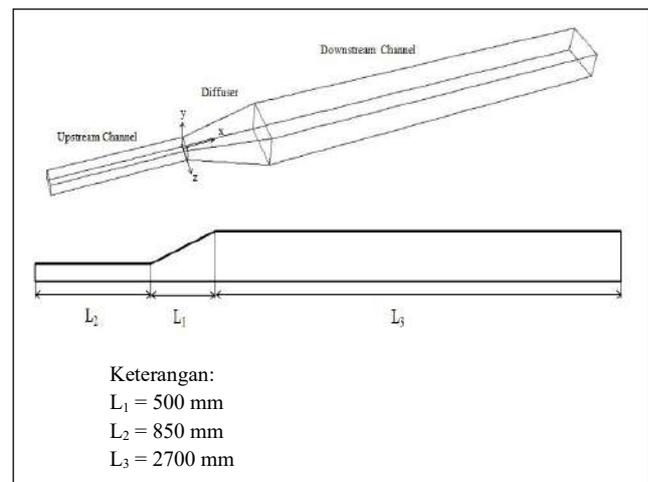
numerik adalah tahap *pre-processing* menggunakan *software GAMBIT 2.4.6* dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing* menggunakan *software Fluent 6.3.26*.

A. Tahap *Pre-processing*

model dan geometri berupa *asymmetric flat-walled diffuser* dibuat menggunakan *software GAMBIT 2.4.6*, seperti yang terlihat pada gambar 2. Adapun tipe mesh yang digunakan adalah *hexahedral-map* dan pembentukan kerapatan mesh pada daerah dekat dinding dengan menggunakan *grading successive ratio double sided*.

B. Tahap *Post-processing*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam tahap *post-processing* adalah pengecekan *Grid*, pemilihan model *solver* dan penentuan model turbulensi yang digunakan (*standard k-ε, realizable k-ε, dan shear stress transport (SST) k-ω*), penetapan jenis *Materials* yaitu udara dengan *density (ρ)* 1,178 kg/m³ dan viskositas (μ) 1,852 x 10⁻⁵ kg/m.s pada temperatur 28°C. *Boundary condition* yang ditetapkan yaitu *velocity inlet* untuk kondisi batas inlet dan *outflow* untuk kondisi batas outlet. Tingkat konvergensi yang ditetapkan yaitu 10⁻⁶.



Gambar 2. Model *asymmetric flat-walled diffuser* pada GAMBIT

III. Hasil dan Pembahasan

fenomena separasi aliran fluida di dalam *asymmetric flat-walled diffuser* secara detail dapat ditunjukkan dengan visualisasi numerik melalui tampilan kontur dan vector kecepatan. Gambar 3 menunjukkan hasil kontur

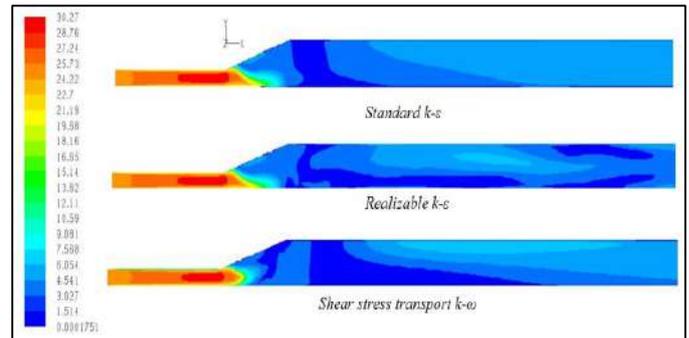
kecepatan pada penelitian numerik dari tiga model turbulensi yang diukur pada sisi *mid span* bidang vertikal. Sedangkan gambar 4 merupakan hasil visualisasi kontur kecepatan pada *mid span* horisontal. Namun sebagai analisa lebih lanjut maka ditampilkan pula kontur kecepatan pada bidang melintang (Gambar 5) agar mampu menginformasikan detail aliran tiga dimensi (3D) yang melintasi *asymmetric diffuser*, terutama besar *vortex* yang terbentuk.

Kontur kecepatan pada *mid span* bidang vertikal hasil ketiga model turbulensi terlihat tidak ada perbedaan yang signifikan pada sisi *upstream*. Pada kontur kecepatan *mid span* vertikal, terlihat bahwa hasil dari *standard k-ε* dan *realizable k-ε* memiliki distribusi kecepatan yang sama diantara keduanya ketika aliran memasuki *diffuser*. Aliran mengalami penurunan kecepatan secara kontinyu hingga sisi *downstream channel*. Pada sisi dinding lurus (*straight wall*), kecepatan aliran sangat tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran pada sisi dinding divergen, seperti yang terlihat pada gambar bahwa kontur kecepatan yang berwarna jingga terdistribusi pada dinding bawah (*straight wall*).

Namun jika melihat kontur kecepatan *mid span* vertikal hasil *shear stress transport (SST) k-ω*, terdapat perbedaan distribusi kecepatan pada saat aliran memasuki *diffuser* jika dibandingkan dengan kontur kecepatan *standard k-ε* dan *realizable k-ε*. Pada kontur kecepatan *shear stress transport (SST) k-ω*, aliran memasuki *diffuser* dengan kecepatan tinggi dari sisi *upstream* dan seakan menyembur di dalam *diffuser*. Hal ini dikarenakan tegangan geser pada dinding cukup besar dan menjadikan *boundary layer* cepat berkembang. Aliran tidak mengalami defleksi ke arah *straight wall* sesaat ketika memasuki *diffuser*, sehingga pada sisi *straight wall* kecepatan aliran tidak lebih besar dibandingkan sisi *diverging wall*, seperti yang terlihat bahwa kontur yang berwarna jingga tepat memasuki *diffuser* dan mengalami penurunan kecepatan secara kontinyu.

Terlihat pada gambar 3 bahwa *vortex* yang terbentuk pada sisi *downstream* diantara ketiga model turbulensi adalah berbeda-beda. Seperti yang terlihat dari distribusi kontur kecepatan yang berwarna biru tua. *Vortex* pada *mid span* vertikal hasil *standard k-ε* terbentuk pada saat

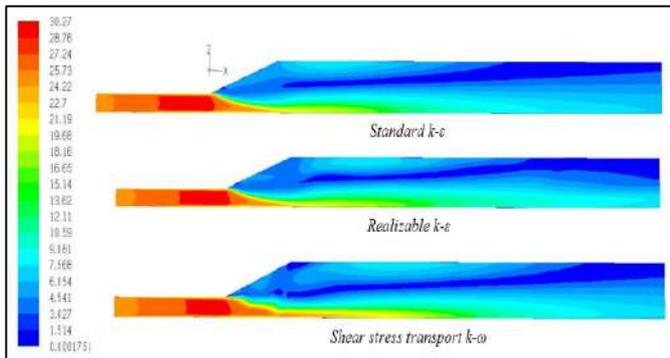
aliran memasuki *downstream channel*. Kemudian aliran mulai mengalami peningkatan kecepatan hingga sisi keluaran *downstream channel*. Sedangkan pada kontur kecepatan hasil *realizable k-ε*, *vortex* muncul ketika aliran memasuki *downstream channel* dan memanjang di sisi *straight wall* (dinding belakang). *vortex* yang terbentuk pada kontur kecepatan *shear stress transport (SST) k-ω* mendominasi sisi *straight wall* dan menagalami peningkatan kecepatan secara bertahap hingga *outlet downstream channel*.



Gambar 3. Kontur kecepatan hasil simulasi numerik pada daerah *mid span* bidang vertikal (*velocity magnitude* dalam m/s)

Pada gambar 4 terlihat secara general bahwa ketiga model turbulensi memiliki kesamaan kontur kecepatan pada *mid span* horisontal, terutama pada sisi *upstream* dan *downstream*. Sedangkan kontur kecepatan di dalam *diffuser* terdapat sedikit perbedaan antara *shear stress transport (SST) k-ω* dengan kedua model turbulensi yang lain.

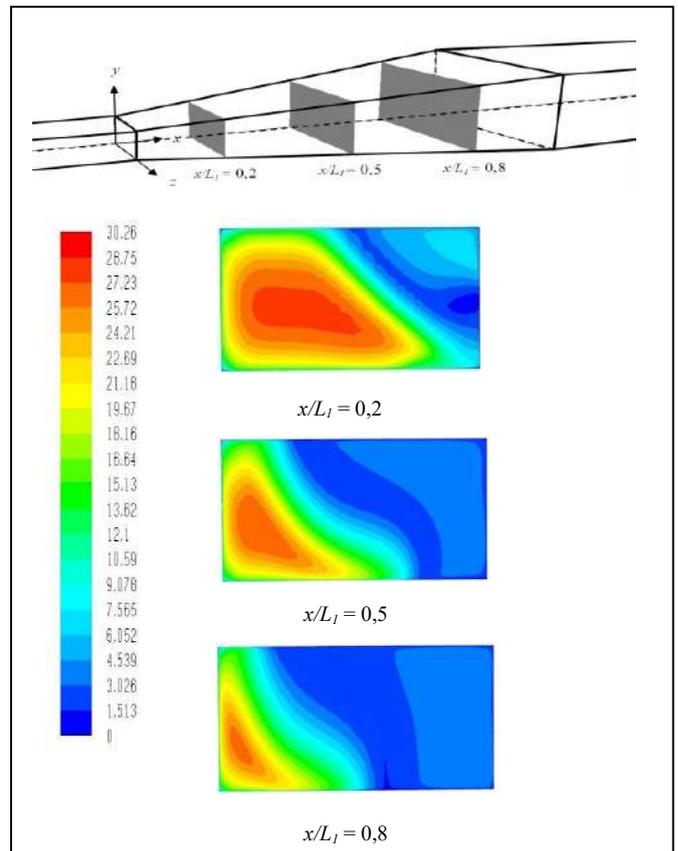
Kecepatan tinggi pada sisi *straight wall* hasil *shear stress transport (SST) k-ω* memiliki distribusi lebih luas di dalam *diffuser* dibandingkan dengan *standard k-ε* dan *realizable k-ε*. Selain itu ditemukannya kecepatan aliran yang sangat rendah pada daerah diantara perubahan penampang dari dinding divergen menuju dinding lurus. Sedangkan pada sisi *downstream*, *vortex* yang terbentuk (dilihat dari distribusi kontur yang berwarna biru tua) diantara ketiga model turbulensi memiliki kesamaan, dimana *vortex* ditemukan sepanjang *downstream channel* hingga sisi keluaran.



Gambar 4. Kontur kecepatan hasil simulasi numerik pada daerah *mid span* bidang horisontal (*velocity magnitude* dalam m/s)

Gambar 5 merupakan gambar kontur kecepatan hasil model turbulensi *standard k-ε* pada tiga bidang melintang *z-y* yang memotong *diffuser* tegak lurus dengan arah aliran utama pada *cross section* $x/L_1 = 0,2$, $x/L_1 = 0,5$, dan $x/L_1 = 0,8$. Pemilihan model turbulensi *standard k-ε* dalam menampilkan kontur kecepatan bidang melintang dikarenakan profil kecepatan hasil *standard k-ε* mendekati hasil eksperimen, berdasarkan penelitian Yiyin [6]. Analisa kontur kecepatan pada bidang tersebut dimaksudkan untuk mengetahui secara jelas pola kecepatan aliran pada *diffuser* sebagai analisa lanjut 3D setelah analisa *mid span* bidang vertikal (bidang *x-y*) dan *mid span* bidang horisontal (bidang *x-z*) yang telah dipaparkan sebelumnya.

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa secara general untuk ketiga kontur pada bidang melintang tersebut memiliki kecepatan aliran dekat *straight wall* (dinding belakang) yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan aliran yang berada di dekat *diverging wall* (dinding depan). Hal tersebut dibuktikan oleh warna aliran pada kontur kecepatan yaitu berwarna jingga di dekat *straight wall* namun tergradasi secara *circle* (melingkar) hingga warna berubah menjadi biru ketika di dekat *diverging wall*. Jika diamati secara keseluruhan untuk ketiga bidang melintang tersebut maka kecepatan aliran tertinggi yaitu berada pada bagian sudut bawah *straight wall*.



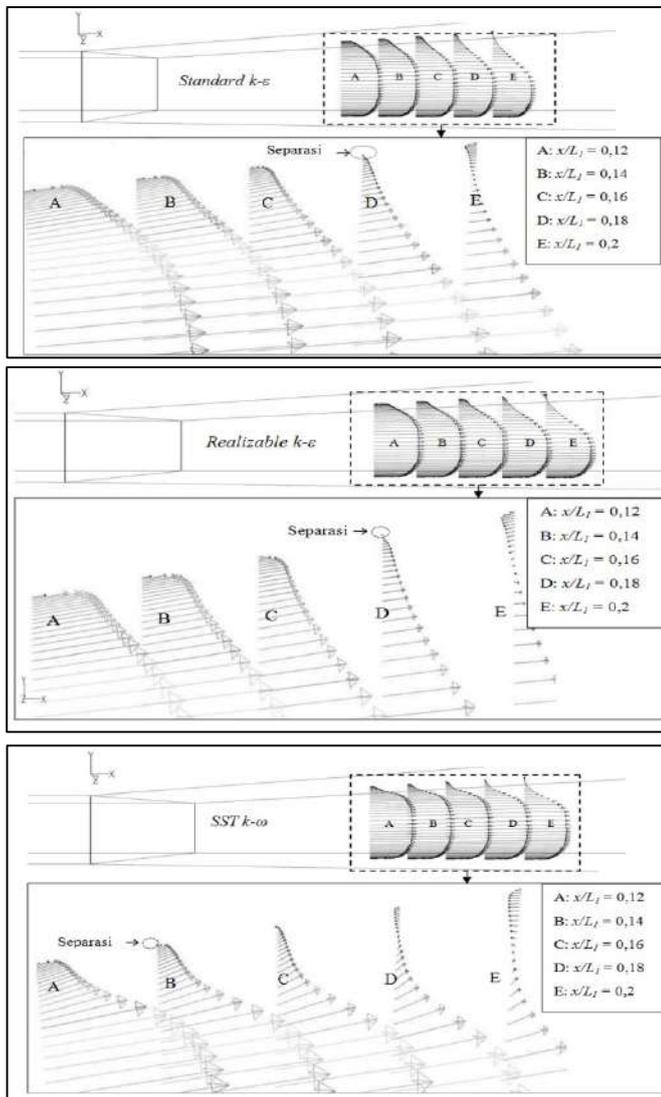
Gambar 5. Kontur kecepatan hasil simulasi numerik *standard k-ε* pada bidang melintang *z-y* (*velocity magnitude* dalam m/s)

Kontur kecepatan bidang *z-y* pada *cross section* $x/L_1 = 0,2$ didominasi oleh warna jingga yang tergradasi *circle* hingga biru muda, sedangkan kontur dengan warna biru tua relatif kecil (gambar 5). Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan aliran masih sangat tinggi pada *cross section* $x/L_1 = 0,2$.

Tampilan vektor kecepatan pada *mid span* bidang vertikal ditunjukkan pada gambar 6. Detail vektor kecepatan diambil pada jarak antara $x/L_1 = 0$ dan $x/L_1 = 0,2$ yang direpresentasikan dengan titik A,B,C,D, dan E. Dengan perubahan jarak x/L_1 , aliran mengalami separasi dengan *separation point* berada di sekitar titik D ($x/L_1 = 0,18$) untuk model turbulensi *standard k-ε* dan *realizable k-ε*. Dengan kata lain awal terjadinya separasi terletak pada jarak $x = 0,09$ m dari *inlet diffuser*.

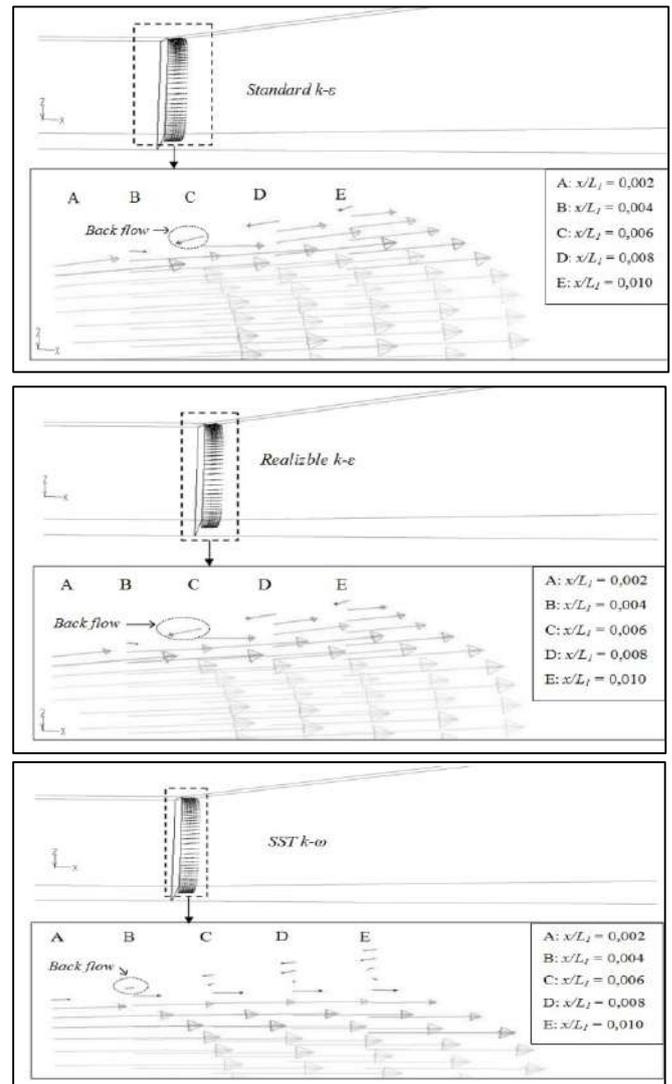
Sedangkan untuk model turbulensi *shear stress transport (SST) k-ω*, *separation point* terjadi lebih awal yakni berada di sekitar titik B ($x/L_1 = 0,14$), yang artinya separasi terjadi pada jarak $x = 0,07$ m dari *inlet diffuser*.

Sesaat setelah separasi terjadi maka diikuti dengan adanya *back flow*. Vektor kecepatan aliran pada *mid span* bidang horisontal untuk ketiga model turbulensi ditunjukkan oleh gambar 7. Detail letak separasi tidak dapat diperlihatkan secara tepat pada gambar 7 namun hanya berupa kisaran jarak yang lebih spesifik. Pada gambar 7 terlihat bahwa separasi terjadi diantara *cross section* $x/L_1 = 0,004$ dan $x/L_1 = 0,006$ untuk model turbulensi *standard k-ε* dan *realizable k-ε*. Sedangkan untuk model turbulensi *SST k-ω*, separasi terjadi lebih awal dibandingkan dua model turbulensi lainnya yaitu diantara *cross section* $x/L_1 = 0,002$ dan $x/L_1 = 0,004$.



Gambar 6. Vektor kecepatan hasil simulasi numerik pada *mid span* bidang vertikal (*velocity magnitude* dalam *m/s*)

Berdasarkan gambar 6 dan 7 terlihat bahwa secara keseluruhan separasi aliran terjadi lebih awal pada *mid span* bidang horisontal dibandingkan pada *mid span* bidang vertikal untuk ketiga model turbulensi. Hal ini dikarenakan sudut divergensi pada dinding depan yang lebih besar dibandingkan dengan dinding atas mengakibatkan separasi pada dinding depan (*mid span* bidang horisontal) terjadi lebih awal yaitu sesaat setelah memasuki *inlet diffuser*. Sedangkan separasi yang terjadi pada dinding atas (*mid span* bidang vertikal) lebih tertunda.



Gambar 7. Vektor kecepatan hasil simulasi numerik pada *mid span* bidang horisontal (*velocity magnitude* dalam *m/s*)

iv. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. *Vortex* yang terbentuk pada *mid span* bidang vertikal, horisontal, dan bidang melintang ($z-y$) mengindikasikan bahwa volume *vortex* sangat besar di dalam *diffuser* dan menyebabkan performa *diffuser* tidak optimal.
2. Separasi aliran yang terjadi pada *mid span* bidang horisontal terjadi lebih awal dibandingkan separasi aliran yang terjadi pada *mid span* vertikal (Berdasarkan detail vektor kecepatan).
3. Letak titik separasi aliran untuk model turbulensi *standard k-ε* sama dengan *realizable k-ε*, yaitu pada $x/L_1 = 0,18$ (*mid span* bidang vertikal) dan diantara *cross section* $x/L_1 = 0,004$ dan $x/L_1 = 0,006$ (*mid span* bidang horisontal). Sedangkan titik separasi aliran untuk model turbulensi *SST k-ω* terletak lebih awal yaitu pada $x/L_1 = 0,14$ (*mid span* bidang vertikal) dan diantara *cross section* $x/L_1 = 0,002$ dan $x/L_1 = 0,004$ (*mid span* bidang horisontal).
4. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, menunjukkan terjadinya gejala separasi dan *vortex* yang sangat besar di dekat *diverging wall*, terutama dinding depan. Sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya digunakan modifikasi pada *asymmetric diffuser* dengan *aspect ratio* konstan namun dengan memperkecil sudut divergensi dinding depan dan digunakan perbedaan bilangan *Reynolds* yang besar untuk dapat mengendalikan atau menunda terjadinya separasi, sehingga diharapkan akan dapat meningkatkan performa *diffuser*.

Ucapan Terima Kasih

Saya ucapkan terima kasih kepada Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D yang membimbing dan memberikan arahan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih juga kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] Charles, H., Benoit, T., "Reynolds-Averaged Navier-Stokes Modelling for Industrial Applications and Some Challenging Issues", Department of Fluid Mechanics, Vrije Universiteit, Brussel, Belgium, 2009.
- [2] El-Beheri, S.M., Hamed, M.H, 2011, "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, 2011.
- [3] Ikhwan, Nur, "Validasi Pemodelan Heat Exchanger Dalam Computational Fluid Dynamics (CFD)", Research report, Teknik Mesin ITS, Surabaya, 2010.
- [4] Launder B. E., Spalding D.B, "Mathematical Models Turbulence", Lecturer Notes, Imperial College of Science and Technology, London, England, 1974.
- [5] Menter, F. R., "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, Vol. 32, 1994, pp. 15981605.
- [6] Yiyin, K., "Experimental and Numerical Study of Steady-RANS Turbulent Flow Characteristics in Asymmetric Diffuser with Constant Aspect Ratio", Master Thesis, Mechanical Engineering ITS, Surabaya, 2013.