

# SIMULASI NUMERIK TERBENTUKNYA REATTACHMENT LENGTH TERHADAP PERUBAHAN TINGGI OBSTACLE PADA TEE DUCT

Priyo Agus Setiawan<sup>1</sup>, Arief Subekti<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Perkapalan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya.  
E-mail<sup>1</sup> : priyo.as@ppns.ac.id

## Abstrak

Simulasi Numerik digunakan untuk melihat fenomena aliran melintasi tee duct dengan menggunakan viscous turbulence model Reliazible k-epsilon. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi numerik untuk mengkaji karakteristik aliran melintasi tee duct berukuran sisi inlet 1 meter, panjang sisi keluar 1 meter dan ukuran duct 0,15 m x 0,15 m. Pada studi ini, akan dipasang obstacle pada tee duct dengan penambahan variasi tinggi obstacle ( $t/D$ ) pada sisi tee duct  $t/D = 0,5$  dan 1 dengan menggunakan asumsi dalam keadaan steady flow, incompressible flow. Prosedur simulasi numerik mengacu dari ten element policy. Simulasi numerik dengan menggunakan viscous turbulence model tipe Realizable k- $\epsilon$  (RKE) yang sesuai untuk melihat fenomena reattachment dan diskritisasi menggunakan Second Order Upwind. Hasil menunjukkan bahwa reattachment length semakin menurun dengan meningkatnya ketinggian obstacle yaitu pada  $t/D = 1$  dibanding tanpa obstacle.

**Kata kunci** - tee duct, obstacle, k- $\epsilon$  turbulence model, second order upwind

## Abstract

Numerical simulation is used to view flow phenomena across the tee duct by using the viscous turbulence model Reliazible k-epsilon. The method used in this research is to use numerical simulation to study the flow characteristics across the tee duct measuring the inlet side of 1 meter, the outlet length of 1 meter and the duct size 0.15 m x 0.15 m. In this study, obstacle will be placed on the tee duct by adding a high variation of obstacle ( $t/D$ ) on the tee duct  $t/D = 0,5$  and 1 by assuming steady flow, incompressible flow. Numerical simulation procedure refers to ten element policy. Numerical simulation using viscous turbulence model Realizable k- $\epsilon$  (RKE) type is suitable for viewing reattachment and discrete phenomena using Second Order Upwind. The results show that the reattachment length decreases with increasing the height of the obstacle at  $t/D = 1$  compared without obstacle.

**Keywords** - tee duct, obstacle, k- $\epsilon$  turbulence model, second order upwind

## 1. PENDAHULUAN

Pada bidang perpipaan mengalami perkembangan teknologi yang begitu pesat. Bentuk penampang persegi disebut dengan *duct*. Salah satu usaha dalam memperbaiki performansi bidang perpipaan telah banyak dilakukan. Penelitian tentang *backward facing step* yang memiliki bentuk geometri yang sederhana dan populer digunakan untuk mengevaluasi model turbulen aliran yang terseparasi. Penelitian tentang *Backward facing step* telah dilakukan secara eksperimen[1]. Perbandingan prediksi hasil simulasi numerik dengan berbagai jenis *turbulence model* terhadap data eksperimen[3]. Penerapan *backward facing step* pada wall, yang dihubungkan dengan aliran turbulen secara umum seperti pada pipa, kanal, bodi dan sayap pesawat serta bidang perkapalan[3].

Studi numerik mengenai *Standard wall function* didasarkan pada proposal of *Launder and Spalding*[4]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan adalah secara eksperimen dengan mengukur *coefficient pressure* ( $C_p$ ), *skin friction* ( $C_f$ ), profil kecepatan dan vektor kecepatan di daerah *recirculation flow* namun pengembangan penelitian Driver and seegmiller sebagai pembanding hasil simulasi numerik dan eksperimen terhadap aliran yang melewati *backward facing step*[3]. Metode numerik yang digunakan pada penelitian adalah model viscous dasar persamaan *Reynolds Average Navier Stoke* [6] yang dikomparasikan terhadap hasil eksperimen. Kajian simulasi numerik yang dilakukan dengan menggunakan *near wall treatment methods* dan berbagai *viscous turbulence models* terhadap *coefficient pressure*, *skin*

*friction*, profil kecepatan dan distribusi vektor kecepatan di daerah *corner*[3].

Studi ini akan melakukan investigasi dalam bentuk konfigurasi geometri *obstacle* diletakkan pada *tee duct* terhadap fenomena aliran yang melintasi *tee duct* dengan metode simulasi numerik yang menggunakan *viscous turbulence model realizable k-epsilon* dengan *standard wall function*. Salah satu sistem perpipaan yang sangat banyak digunakan adalah *tee duct*. Pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi dengan meletakkan *obstacle* pada sisi *tee duct*. *Obstacle* yang terpasang pada sisi *tee* merupakan salah satu jenis *deflector* dengan tujuan agar dapat membantu aliran menuju *outlet* sehingga mengurangi stagnasi yang diakibatkan oleh *tee*. Pemasangan *obstacle* pada sisi *tee duct* sebelum daerah *recirculation flow* atau inlet pada *tee duct* diharapkan mampu membuat aliran terarah. Perubahan tinggi *obstacle* ( $t/D$ ) yang dipasang pada *tee duct*, diduga mampu meningkatkan aliran menjadi lebih terarah dan mengurangi aliran yang berhenti mendadak pada *tee duct* sehingga mampu mempersempit daerah *recirculation flow*, dengan melihat lokasi dan *reattachment length*.

Dari latar belakang tersebut, *tee duct* memiliki *reattachment length* yang besar akibat belokan yang mendadak dan terjadinya *stagnasi* pada *tee duct*. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengurangi *reattachment length* dengan menambahkan *obstacle* pada *tee duct* agar aliran akan diarahkan menuju *outlet*. Pada studi ini akan diamati kinerja *tee duct* akibat perubahan diameter tinggi *obstacle* ( $t/D$ ) 0,5 dan 1. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dengan tipe *turbulence model Realizable k-epsilon (RKE)* dan diskritisasi menggunakan *Second Order Upwind*.

## 2. METODE

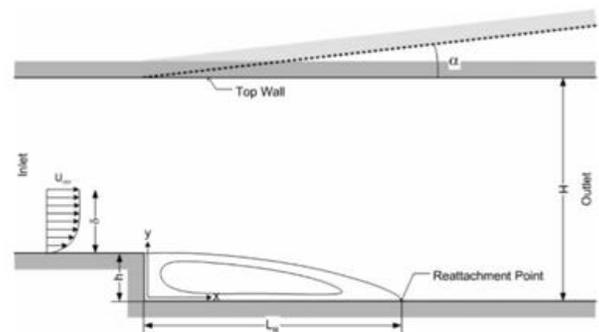
Freitas membahas mengenai isu ketidakpastian mengenai numerik sehingga menghasilkan sebuah pedoman kebijakan dalam melakukan pentahapan simulasi numerik. *Conference* menghasilkan *ten element policy* yaitu:

a. Penjelasan metode yang digunakan.

- b. Minimal *second order*.
- c. *Artificial viscosity* seperti *Reynolds Average Navier Stoke (RANS)*, *LES (Large Eddy Simulation)* dan lain-lain.
- d. *Grid independence*.
- e. *Iterative convergence*.
- f. Untuk kalkulasi *transient*, kesalahan dinilai dan diminimumkan.
- g. *Boundary* dan *initial condition*
- h. Jenis *turbulence* model yang digunakan
- i. *Benchmark solution*
- j. Validasi dengan eksperimen

Penelitian Driver and seegmiller, meneliti tentang *Backward facing step* yang memiliki geometri yang sangat sederhana dan merupakan geometri yang sangat populer digunakan untuk mengevaluasi model turbulen untuk aliran yang terseparasi. *Backward facing step* telah diteliti secara eksperimen[1].

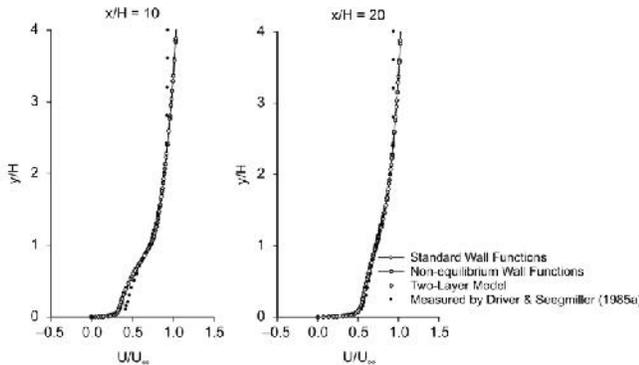
Prediksi hasil simulasi *turbulence model* terhadap data eksperimen. Aplikasi *backward facing step* pada *wall* yang dihubungkan dengan aliran turbulen umumnya seperti pada pipa, kanal dan melintasi bodi dan sayap pesawat dan sekitar kapal[1][3].



**Gambar 1.** *Back ward Facing Step*[1]

Pada Gambar 1 menunjukkan penelitian [3] tentang terbentuknya *reattachment point* terhadap perubahan sudut kemiringan pada sisi atas secara 2 dimensi[3]. Melakukan variasi kemiringan sisi atas pada sudut kemiringan  $0^\circ$  dan  $6^\circ$ . Terbentuknya *recirculation zone* terjadi akibat aliran melintasi area yang semakin membesar secara tiba-tiba dan aliran akan

kembali ke kontur yang disebut dengan *reattachment point*.



**Gambar 2.** Velocity profiles pada  $x/H = 10$  dan  $x/H = 20$

Profil kecepatan diprediksi dengan metode *near-wall treatment*, menunjukkan pada Gambar 2 untuk  $0^\circ$  wall-angle, hampir identik dengan yang lainnya dan dengan pengukuran secara eksperimen. Profil kecepatan di *inlet* diasumsikan *fully developed* dengan kecepatan 44.2 m/s. Untuk perbandingan, dalam eksperimen dari [1], kondisi inlet adalah dengan kecepatan sebesar 44.2 m/s and diameter sebesar 0.019 m. Pada Gambar 2 menunjukkan *velocity vectors* di *corner* dengan  $0^\circ$  wall-angle. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar, *recirculation* diamati dalam eksperimen yang dicapture dengan menggunakan metode *near-wall treatment*. SKE, RNG dan RKE models telah gagal untuk menampilkan *recirculation* ketika dikomputasi dengan *wall functions*. Namun dengan *SKW and SST models* dikomputasi dengan *mesh* untuk *wall functions* mampu menampilkan *recirculation*.

**Tabel 1.** Komparasi *reattachment length*

Turbulence models	Near-wall treatment methods			Measured (1985)	
	Standard wall functions	Non-equilibrium wall functions	Two-layer model		
<b>Reattachment length (<math>Z_{att}</math>) for <math>0^\circ</math> wall-angle</b>					
SKW	4.9-5.1	5.3-5.5	5.7-5.8	5.25 ± 0.10	
RNG	5.7-5.9	6.1-6.3	6.4-6.5		
RKE	5.7-5.9	6.1-6.3	6.6-6.7		
RSM	5.1-5.3	5.7-5.9	6.6-6.7		
SKW		6.7-6.9	7.5-7.6		
SST		6.1-6.3	6.4-6.6		
<b>Reattachment length (<math>Z_{att}</math>) for <math>6^\circ</math> wall-angle</b>					
SKW	5.0-6.1	6.3-6.6	7.0-7.1		
RNG	7.4-7.6	8.0-8.2	8.5-8.6		
RKE	7.4-7.6	8.0-8.2	8.5-9.0		
RSM	5.9-6.1	6.8-7.1	6.9-7.0		
SKW		9.4-9.6	10.1-10.7		
SST		8.1-8.6	9.6-9.7		

Tabel 1 menunjukkan hasil riset simulasi numerik kim dkk, 2005 yang melakukan

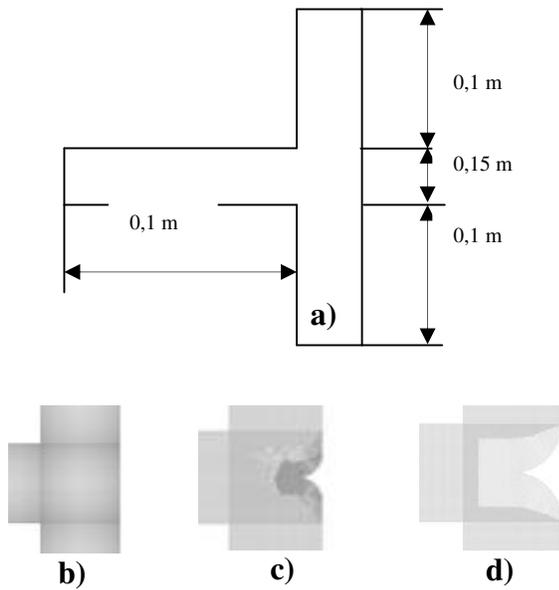
komparasi terhadap eksperimen yang dilakukan seegmiller, 1985.

Prediksi *reattachment lengths* yang ditunjukkan dengan menggunakan *turbulence models* dan *near-wall treatment methods* yang diukur dengan nilai [1]. Pada tabel 1 diperoleh prediksi *reattachment lengths* dengan *standard wall functions* pada keadaan *under-predicted* 7.3–28% tanpa memperhatikan penerapan *turbulence model* untuk  $0^\circ$  dan  $6^\circ$  wall-angles. Untuk kasus pengerjaan *non-equilibrium wall functions*, RNG dan RKE models diprediksi *reattachment lengths* dalam 2.4% dari pengukuran untuk  $0^\circ$  dan  $6^\circ$  wall-angles. Namun, SKE dan RSM models dengan *non-equilibrium wall functions* dalam kondisi *reattachment underpredicted* untuk kedua wall angle dengan 7.3–22%. *two-layer model* dengan kondisi *reattachment length* yang dibawah prediksi (*under-predicted*) untuk kasus dengan SKE dan RSM 8.1– 16% untuk  $0^\circ$  dan  $6^\circ$  wall-angles. Untuk RNG dan RKE dengan *two layer model*, *reattachment lengths* diatas prediksi pengukuran (*over-predicted*) dengan nilai 3.0– 7.8% untuk kedua wall-angles.

SKW model dikomputasi dengan mesh *wall functions* menghasilkan diatas prediksi (*over-predicted*) dengan 8.6 –14% untuk  $0^\circ$  dan  $6^\circ$  wall-angles. Namun, SST model dikomputasi dengan mesh *wall functions* dipredisi *reattachment length* sekitar 2.4% untuk kedua wall-angle. ketika SKW model dikomputasi dengan mesh *two-layer model*, hasil dari *reattachment length* terjadi diatas prediksi (*over-predicted*) dengan 21% untuk kedua wall-angle. SST model yang dikomputasi dengan *mesh* untuk *two-layer model* menghasilkan *over-predicted* dengan 4.6 – 16% untuk kedua wall-angle.

### 2.1 Geometri tee duct

Penelitian ini akan dilakukan variasi obstacle yaitu tanpa obstacle, obstacle t/D sebesar 0,5 dan 1. Obstacle ditempatkan pada tee duct seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** a) tee duct, b) tanpa duct, c) obstacle t = 7,5 cm dan d) obstacle t = 15 cm.

**2.2 Simulasi numeric**

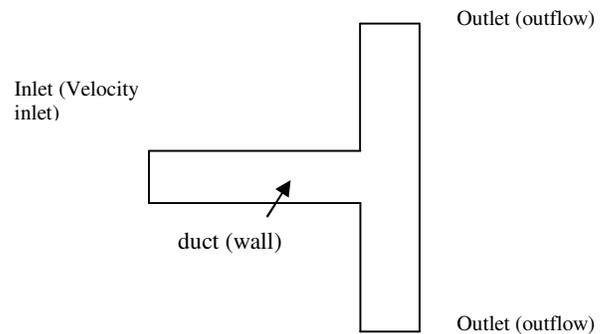
Domain simulasi numerik pada *tee duct* yaitu *inlet (velocity inlet)*, *outlet (pressure outlet)*, *tee duct (wall)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Diameter *hidraulic* pada *duct* ukuran 15 cm x 15 cm dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$D_h = \frac{4A}{\text{peripheral}}$$

$$D_h = \frac{4 (15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm})}{2(15 + 15)\text{cm}}$$

$$D_h = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

Inputan simulasi pada program *Ansys* untuk *inlet* dan *outlet* dengan menggunakan nilai *Turbulence Intensity (TI)* sebesar 0,1% dan *Diameter hidraulic (D<sub>h</sub>)* sebesar 0,15 m dengan aliran yang *steady flow*.

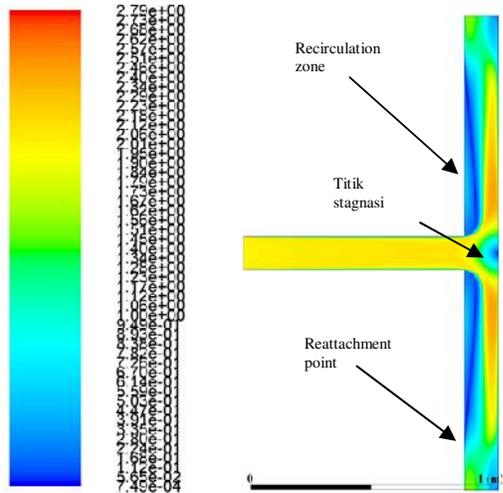


**Gambar 4.** Domain Simulasi

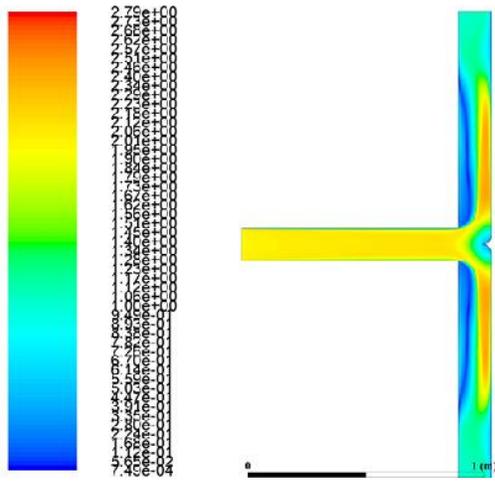
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian dengan menggunakan studi numerik, dimana fluida melintasi pipa *duct* berukuran 0,15 m x 0,15 m dengan kecepatan fluida 2 m/s dan 4 m/s pada *Reynolds numbers (Re)* 1,913x10<sup>4</sup> - 5,74x10<sup>4</sup>. Aliran pada *duct* adalah turbulen dengan dimensi panjang *inlet* pada domain simulasi sebesar 1 m dan panjang *outlet* simulasi sebesar 1 m. Fluida udara memiliki *density (ρ)* 1,2647 kg/m<sup>3</sup> dan *dynamic viscosity (μ)* 1,983 x 10<sup>-5</sup> kg/m-s. Studi ini dengan menambahkan sirkular *bump* pada pipa *inlet* dengan temperatur kerja sebesar 300K.

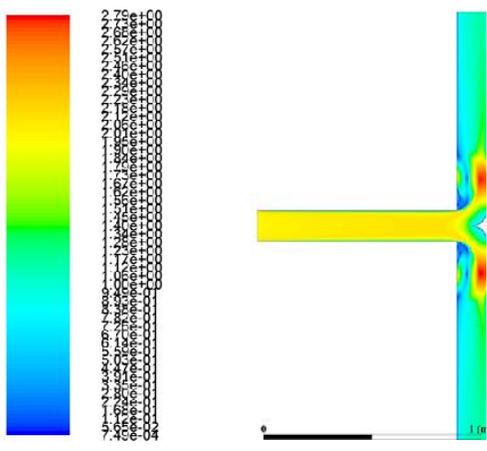
Penelitian ini menginvestigasi perkembangan terbentuknya *reattachment length* secara kualitatif dengan melihat *velocity contour* pada tee duct yang dipasang *obstacle* dengan tinggi (t/D) sebesar 0,5 dan 1. Hasil perkembangan pembentukan *reattachment length* pada kecepatan 2 m/s ditunjukkan seperti pada Gambar 5 dan pada kecepatan 4 m/s yang ditunjukkan pada Gambar 6.



a)



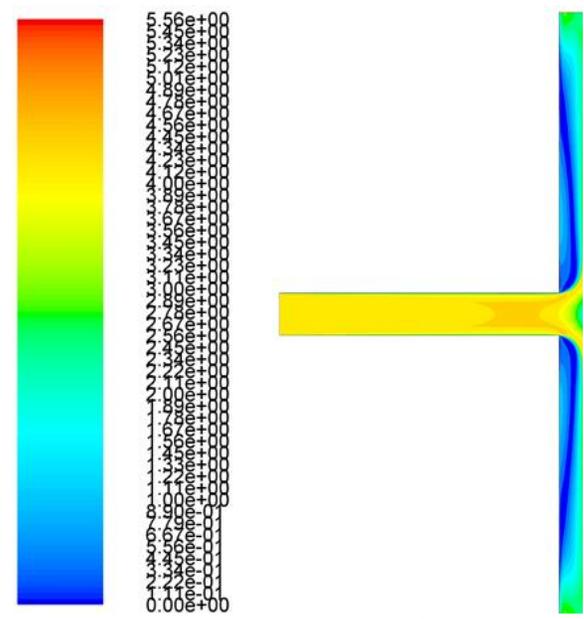
b)



c)

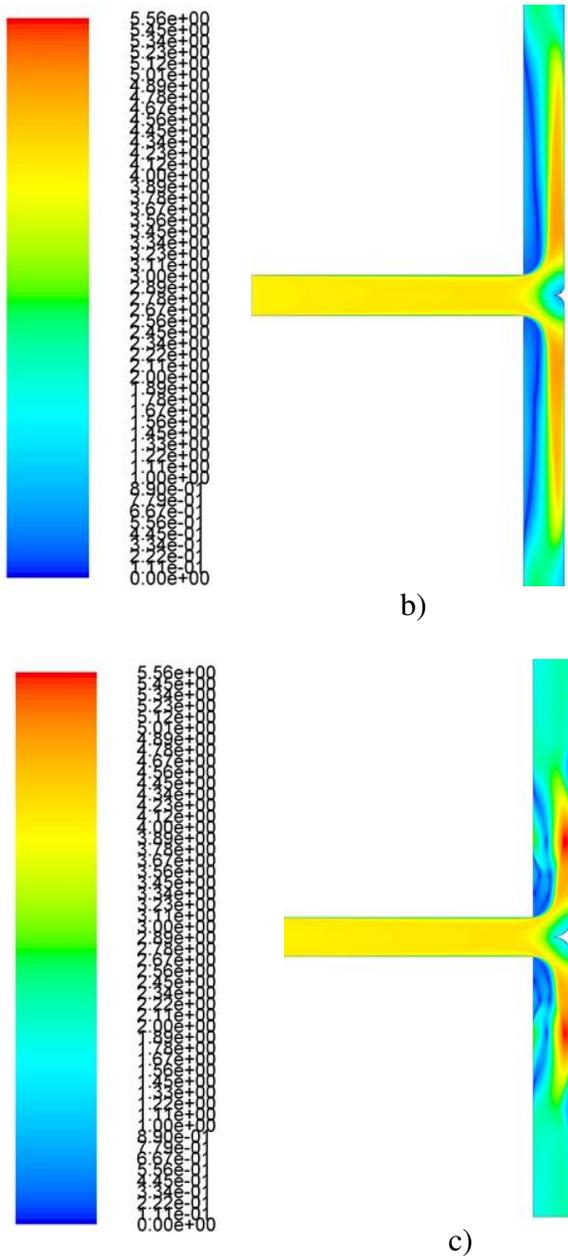
Perkembangan pembentukan *reattachment length* pada tanpa *obstacle* menunjukkan terjadinya titik stagnasi pada *tee duct* dan aliran dari *inlet* menabrak *tee duct* sehingga akan menyebabkan timbulnya *recirculation* pada setelah belokan tajam pada *tee duct*. Titik stagnasi ditandai dengan kecepatan rendah yang mendekati nol dan secara kualitatif terlihat warna biru pada posisi tepan pada *tee duct*. Aliran yang melintasi setelah *tee duct* mengalami *recirculation zone* seperti yang ditunjukkan pada gambar. Kembalinya lintasan fluida ke kontur dinding *duct* disebut dengan *reattachment*. Pada Gambar 4 untuk kecepatan inlet sebesar 2 m/s, menunjukkan bahwa *reattachment length* semakin pendek dengan memasang *obstacle* pada *tee*. Optimum *tee duct* terjadi pada  $t/D$  *obstacle* sebesar 1.

Pada Gambar 5 menunjukkan perkembangan pembentukan *reattachment length* pada kecepatan 4 m/s. Fenomena aliran melintasi *tee duct* sama dengan kecepatan 2 m/s, dimana hasil yang mampu menurunkan *reattachment length* terjadi pada ketinggian *obstacle*  $t/D$  sebesar 1.



a)

**Gambar 4.** *Velocity contour* pada *tee duct* a) tanpa *obstacle*, b) *obstacle*  $t/D = 0,5$  dan c) *obstacle*  $t/D = 1$  pada kecepatan angin 2 m/s.



**Gambar 5.** Velocity contour pada tee duct a) tanpa obstacle, b) obstacle  $t/D = 0,5$  dan c) obstacle  $t/D = 1$  pada kecepatan angin 4 m/s.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil studi numerik menunjukkan bahwa *reattachment length* semakin menurun dengan meningkatkannya ketinggian *obstacle* yaitu pada  $t/D = 1$  dibanding tanpa *obstacle*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya berikan kepada <sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Perkapalan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang sudah memberikan dukungan. Kepada sumber-sumber referensi yang mendukung dalam penulisan jurnal ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Driver, D.M and seegmiller, H., L., Backward-facing step with inclined opposite wall-experiments by driver and seegmiller, 1985a, [www.URLhttp://cfd.me.umist.ac.uk/ercoftac](http://cfd.me.umist.ac.uk/ercoftac) [2003, Jan 31].
- [2] Freitas, C. J, “The issue of numerical uncertainty”, Second Internasional Conference on CFD in the Minerals and Proses Industries CSIRO, Melbourne, Australia. 6-8 Desember 1999.
- [3] Kim. J., Y, Ghajar .A.J, Tang. C and Fouch.G.L, ‘Comparison of near-wall treatment methods for high Reynolds number backward-facing step flow”, International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 19, No. 7, October 2005, 493–500.
- [4] Launder BE and spalding, DB, The numerical computation of turbulent flows. Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., 1974,3, 269-289.
- [5] Tuakia. F. 2008. Dasar-dasar Computational Fluid Dynamics (CFD) menggunakan Fluent, Informatika Bandung.
- [6] Veesteeg, H.,K, Malalasekera. W, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, Longman sciences & technical, 1995.