

# Studi simulasi numerik struktur aliran sekunder akibat variasi posisi *Forward Facing Step Turbulent Generator* disekitar bidang tumpu pada bodi sismetris

Studi kasus : NACA 0015

Sutrisno<sup>1,2</sup>, Mirmanto, H.<sup>1</sup>, Sasongko, H.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>2</sup>Universitas Kristen Petra

Email : tengsutrisno@peter.petra.ac.id

## 1. Abstrak

Unjuk kerja mesin-mesin fluida dipengaruhi sangat besar oleh *blockage* aliran, yang disebabkan aliran sekunder. Upaya reduksi aliran sekunder dilakukan melalui penambahan *forward facing step turbulator* pada bidang tumpu. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dampak variasi posisi bodi tunggal terhadap karakteristik aliran sekunder melalui kajian simulasi numerik dengan menggunakan program komersial FLUENT. Analisa struktur aliran 3D dilakukan melalui paparan *streamline* aliran pada bidang tumpu, sedang *blockage* aliran dilakukan dengan paparan *total pressure loss coefficient* pada daerah *downstream*. Parameter yang digunakan aliran *free stream*  $Re_c = 10^5$  dan Intensitas turbulensi  $Tu = 5\%$ . Bodi simetri NACA 0015 dan variasi posisi *forward facing step turbulator* dibandingkan panjang chord yang digunakan pada penelitian ini adalah  $L/C=4/12, 8/12, 12/12, 16/12, 20/12$ .

Hasil penelitian menyatakan *Forward facing step turbulator* dapat meningkatkan intensitas turbulensi dan momentum aliran khususnya di dekat bidang tumpu dibandingkan dengan tanpa *forward facing step turbulator*. Pada daerah *leading edge* penggunaan FFST berdampak terhadap semakin lemahnya momentum sehingga menyebabkan *forward saddle point* menjauhi *leading edge*. Dampak tersebut menyebabkan separation line 3D semakin membuka dan menjauhi kontur bodi. Namun akibat konversi intensitas turbulensi yang tinggi menjadi momentum pada daerah *adverse pressure* pada bodi menyebabkan aliran didalam formasi aliran sekunder sekunder lebih mampu attach sehingga menyebabkan *blockage* semakin kecil. Efektifitas penggunaan *forward facing step turbulator* terbaik diletakkan pada posisi  $L/C=2/3$  dan 1 mampu mereduksi energy sebesar 20%.

Kata Kunci: Aliran sekunder, energi, losses, turbulen, momentum, aliran separasi 3D.

## 2. Pendahuluan.

Unjuk kerja mesin-mesin fluida dipengaruhi sangat besar oleh *blockage* aliran, yang disebabkan aliran sekunder. Apabila aliran sekunder menguasai daerah *hull* kapal berdampak terhadap kerugian ketidak-stabilan haluan kapal. Hal ini dipaparkan oleh Gross dkk[1] tentang fenomena aliran sekunder yang sangat rumit terjadi pada *suboff bare hull model* dengan aliran *high Reynolds*. Apabila *angle of attack* diperbesar berdampak terhadap *streamwise vortices* semakin meluas. Hal ini menyebabkan kerugian energi pada sistem pendorong kapal semakin besar. Selain itu fakta lain tentang timbunan sampah di sekitar tiang penyangga jembatan merupakan bukti nyata dampak aliran sekunder.

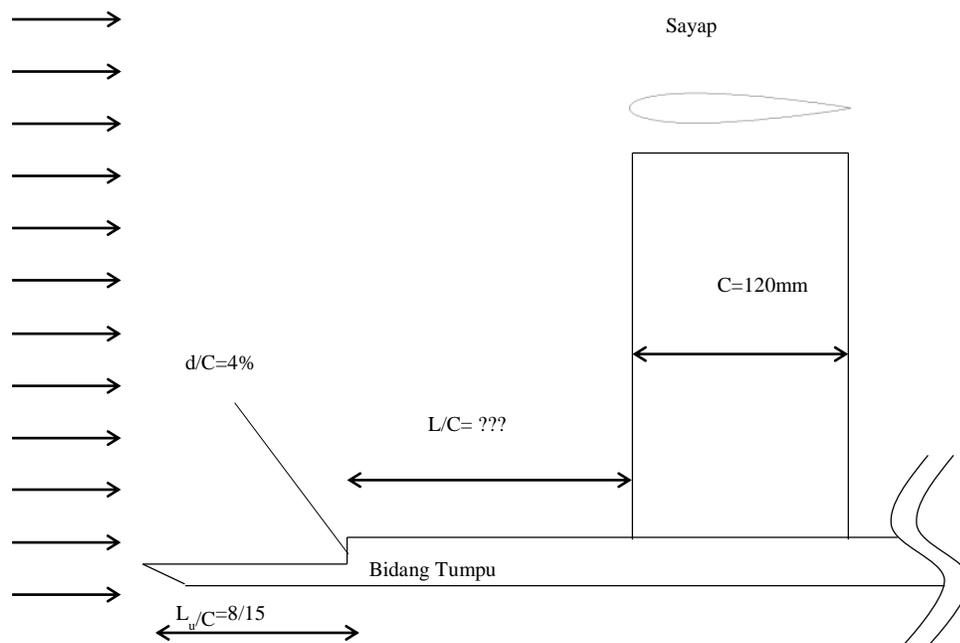
Lakminaraya dan Horclock[2] menyatakan bahwa separuh dari kerugian hidrolis total pada kompresor aksial 50% disebabkan oleh aliran sekunder. Dengan demikian semenjak diketahui bahwa kerugian energi pada mesin fluida didominasi oleh aliran sekunder berdampak kepada peneliti kembali melakukan eksplorasi secara fundamental melalui kajian aliran sekunder pada bodi tunggal dan bidang tumpu. Abdulla[3] menyatakan bahwa aliran sekunder disebabkan oleh interaksi dua aliran *viscous* yang saling berdekatan. Sedangkan Merati[4] menyatakan bahwa aliran sekunder merupakan aliran yang memiliki arah orthogonal terhadap aliran primer. Kedua peneliti ini melakukan penelitian melalui bodi tunggal dan bidang tumpu, dimana hanya terjadi aliran sekunder. Kemudian Mirmanto dan Sasongko[5] mempertegas kedua pernyataan ini berdasarkan teori Tobak dan Peake[6], yang menyatakan terjadi aliran sekunder selalu dimulai dari titik *forward saddle point* yang merupakan titik pertemuan dua *attachment line*. Selain itu Mirmanto dan Sasongko selalu menyatakan bahwa aliran sekunder terjadi akibat ketidak mampuan aliran viscous menghadapi *adverse pressure* di depan *leading edge*.

Steane et al.[7] telah melakukan upaya mereduksi aliran sekunder melalui penambahan *leading edge fairing*. Hal ini bertujuan mengurangi daerah *adverse pressure* di depan *leading edge*. Hasil menunjukkan bahwa *leading edge fairing* telah mampu mereduksi aliran sekunder, namun tidak efektif digunakan pada *angle of attack* kuat. Oleh karena itu reduksi aliran sekunder perlu dilakukan upaya lain yaitu dengan penambahan *turbulent generator* yang dihasilkan aliran yang lebih turbulen sehingga momentum dan intensitas meningkat pada aliran *viscous*.

Serry et al.[8] karakteristik aliran setelah melintasi *forward facing step turbulent generator* (FFST) terbentuk dua aliran resirkulasi sehingga peningkatan turbulensi aliran sangat besar dibandingkan jenis turbulator bentuk lainnya. Sehingga penelitian ini melakukan penambahan FFST pada bidang tumpu untuk mereduksi terjadinya aliran sekunder. Berdasarkan pernyataan Mirmanto dan Sasongko[5] tentang terjadinya aliran sekunder, selalu menginginkan momentum aliran yang kuat khusus di daerah dekat dengan bidang tumpu. Namun peneliti yang lain Wo dan Zhong[9] mengaplikasi FFST pada turbine, FFST diletak tepat pada posisi *leading edge*. Hal ini menyebabkan kerisauan peneliti tentang dua pernyataan yang saling bertentangan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian fundamental terhadap variasi posisi FFST terhadap karakteristik aliran sekunder.

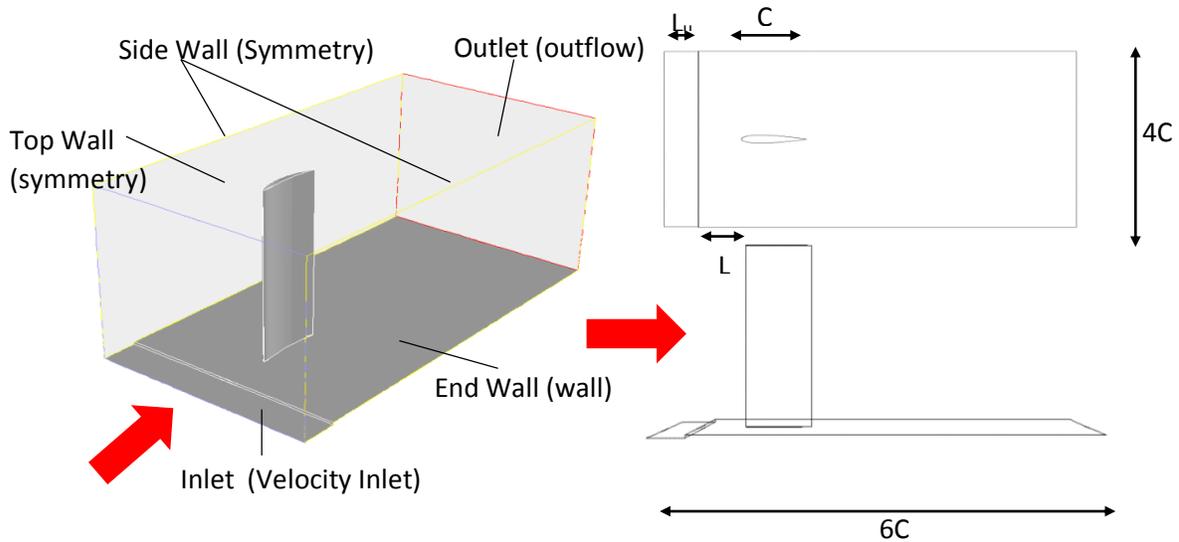
### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik dengan program komersial Ansys Fluent, kemudian diekplorasi menggunakan TECPLOT 360 2010. Parameter yang digunakan aliran *free stream*  $Re_c = 10^5$  dan Intensitas turbulensi  $Tu = 5\%$ . Bodi simetri NACA 0015 dan variasi posisi *forward facing step turbulator* dibandingkan panjang chord yang digunakan pada penelitian ini adalah  $L/C = 4/12, 8/12, 12/12, 16/12, 20/12$ . Selain itu model viscous yang digunakan RNG-K-Epsilon, discretization menggunakan *second orde* dan kriteria konvergen yang digunakan  $10^{-6}$ . Skema penempatan FFST ditunjukkan pada gambar 1-1.



Gambar 1 Posisi FFST dan Bodi

Sedangkan pada gambar 2 ditunjukkan domain simulasi numerik sesuai dengan parameter yang digunakan pada proses simulasi. Hasil analisa struktur aliran 3D dilakukan melalui paparan *streamline* aliran pada bidang tumpu, sedang *blockage* aliran dilakukan dengan paparan *total pressure loss coefficient* pada daerah *downstream*.

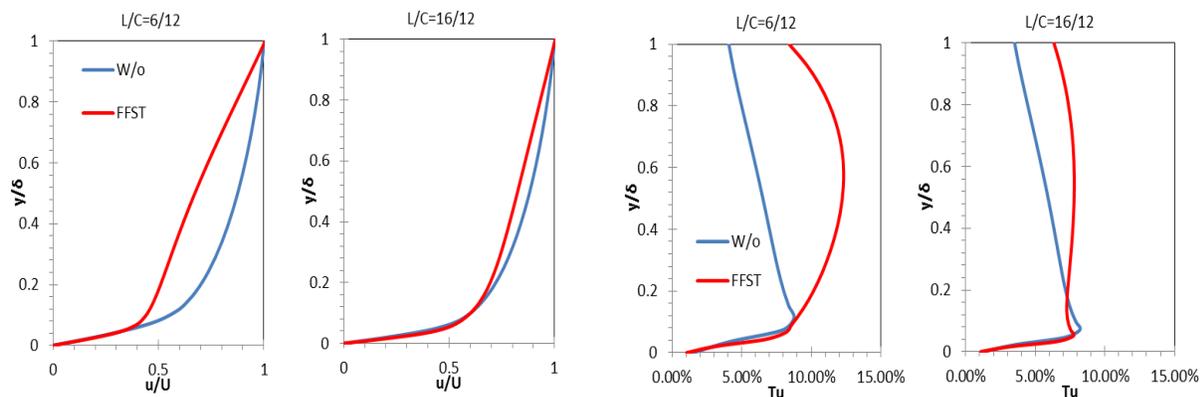


Gambar 2 Domain simulasi numerik.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

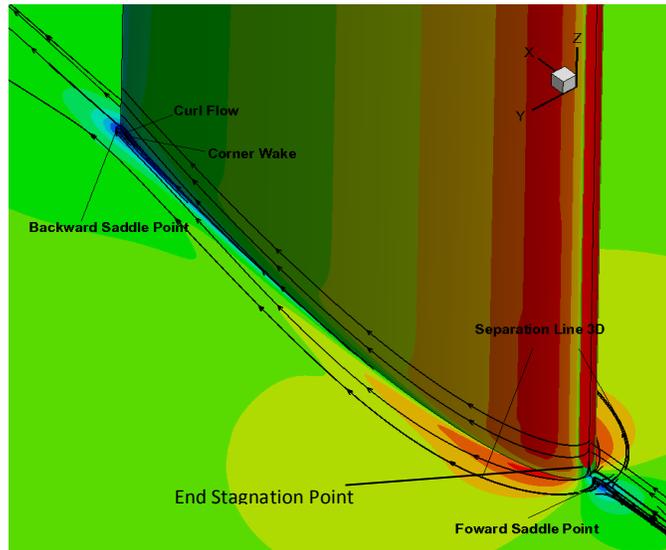
Penambahan FFST pada bidang tumpu menyebabkan karakteristik *boundary layer* aliran mengalami evolusi yang signifikan, hal ini sesuai dengan pernyataan Serry dkk[8]. Evaluasi posisi pengamatan dilakukan pada posisi dekat dengan FFST yang diindikasikan  $L < C$  dan jauh dari FFST yang diindikasikan  $L > C$ . Profil kecepatan yang diindikasikan sebagai momentum aliran dekat FFST terlihat hancur kemudian dikonversikan menjadi peningkatan intensitas turbulensi yang kuat. Namun seiring dengan panjang lintasan aliran tersebut mengalami pemulihan momentum aliran seiring dengan lemahnya intensitas turbuensi. Hal ini diindikasikan bahwa karakteristik aliran di daerah dekat dengan FFST memiliki intensitas turbulensi tinggi dan momentum aliran lemah. Sedangkan pada daerah jauh dari FFST aliran memiliki karakter intensitas turbulensi rendah dan momentum aliran kuat.

Hal ini menunjukkan bahwa peristiwa resirkulasi aliran terjadi konversi momentum aliran terhadap intensitas turbulensi secara singkat. Kemudian intensensitas turbulensi secara berangsur-angsur dikonversikan menjadi momentum sepanjang lintasan aliran. Pemulihan momentum aliran didominasi pada daerah dekat dengan bidang tumpu. Semua ini dipaparkan pada gambar 3.



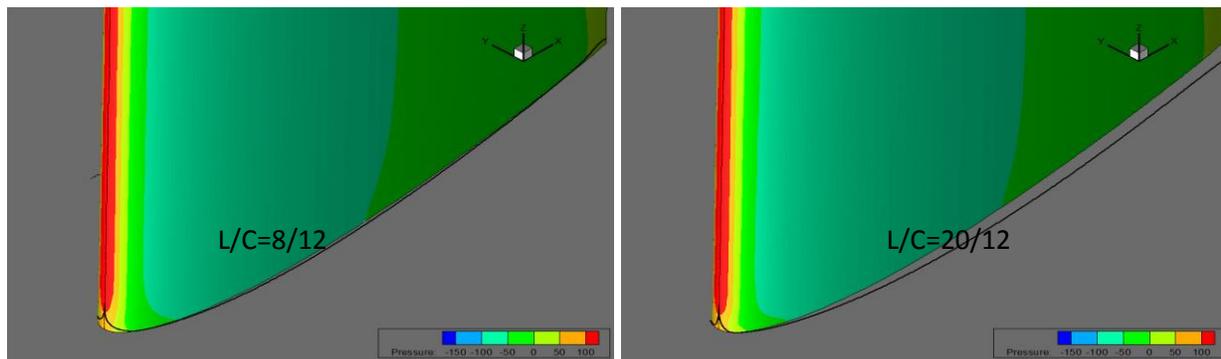
Gambar 3 Formasi karakteristik profil kecepatan dan intensitas turbulensi setelah melintasi FFST.

Formasi aliran sekunder yang terjadi di antara bodi tunggal dan bidang tumpu selalu dimulai dari terbentuk *forward saddle point* di depan *leading edge* sesuai pernyataan Mirmanto dan Sasongko[5]. Namun aliran primer yang memiliki intensitas turbulensi memiliki pengaruh terhadap posisi *end stagnation point*. Dimana posisi tersebut merupakan percabangan aliran yang membentuk *attachment line* di dalam *formasi horseshoe vortex*. Posisi titik tersebut apabila semakin jauh dari bidang tumpu selalu mengindikasikan bahwa aliran akan semakin mendekati daerah aliran *inviscid* yang cenderung memiliki energi yang lebih besar. Selain itu *end stagnation point* merupakan penentu utama selain posisi *forward saddle point* dalam *horseshoe size*. *Corner wake* penyebab terjadi *blockage* merupakan produk langsung oleh *attachment line* dari *end stagnation point*.



Gambar 4 Formasi horseshoe vortex

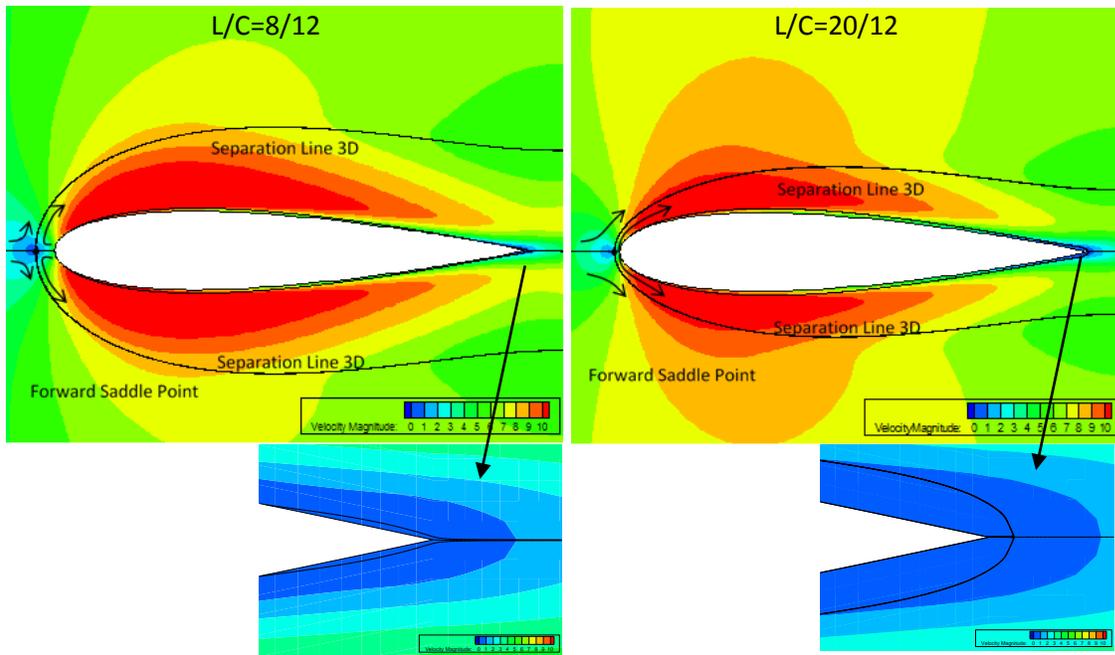
*End stagnation point* hasil simulasi numerik ditunjukkan pada gambar 5. Dimana posisi bodi dekat terhadap FFST dipresentasikan pada  $L/C=8/12$ , sedangkan yang jauh dipresentasikan pada  $L/C=20/12$ . *End Stagnation Point* tidak mengalami perubahan yang sangat berarti. Namun nilai kontur tekanan maksimum pada dekat FFST memiliki luasan yang lebih besar, ditunjukkan nilai diantara -50 sampai dengan 0 dengan indentitas warna ijo dekat *leading edge*. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan statis yang lebih tinggi mampu mendorong aliran di dalam formasi *horseshoe vortex* semakin kuat.



Gambar 5 Posisi *end stagnation point* melalui kontur tekanan statis

Dampak terhadap kontur tekanan statis yang lebih kuat pada bodi yang lebih dekat dengan FFST dihasilkan *attachment line* di dalam formasi *horseshoe vortex* yang kuat momentum. Hal ini ditunjukkan pada gambar 6 dimana kontur kecepatan disekitar bodi memiliki nilai yang lebih besar berupa warna merah. Akibat desakan aliran di dalam formasi *horseshoe vortex* yang kuat dan kontur kecepatan di luar formasi lebih kecil berdampak pada posisi *forward*

*saddle point* lebih tergesak menjauhi kontur bodi. *Forward saddle point* merupakan pertemuan dua *attachment line* dari aliran primer dan aliran kembali dari *end stagnation point*, selalu dihasilkan dua garis *separation line 3D*. Garis ini merupakan parameter penentu terhadap *horseshoe vortex size* pada aliran tanpa melibatkan peningkatan intensitas turbulensi. Apabila aliran mengalami perubahan intensitas turbulensi yang signifikan, parameter *separation line 3D* belum cukup mempresentasikan *blockage* di daerah *downstream*. Fenomena ini ditunjukkan pada topologi aliran FFST dekat dengan bodi, dimana *separation line 3D* membuka dan menjauhi bodi kontur dihasilkan *blockage* yang lebih kecil. Di mana *attachment line* di dalam formasi *horseshoe vortex* akan selalu memiliki momentum aliran menuju *downstream* lebih kuat sehingga tidak mudah terintimidasi menuju *orthogonal* sehingga *nodal point of attachment* sangat dekat dengan *trailing edge*. Hal ini menyebabkan *separation line* berupa *backflow* sangat kecil sehingga kejadian *blockage* semakin tereduksi.



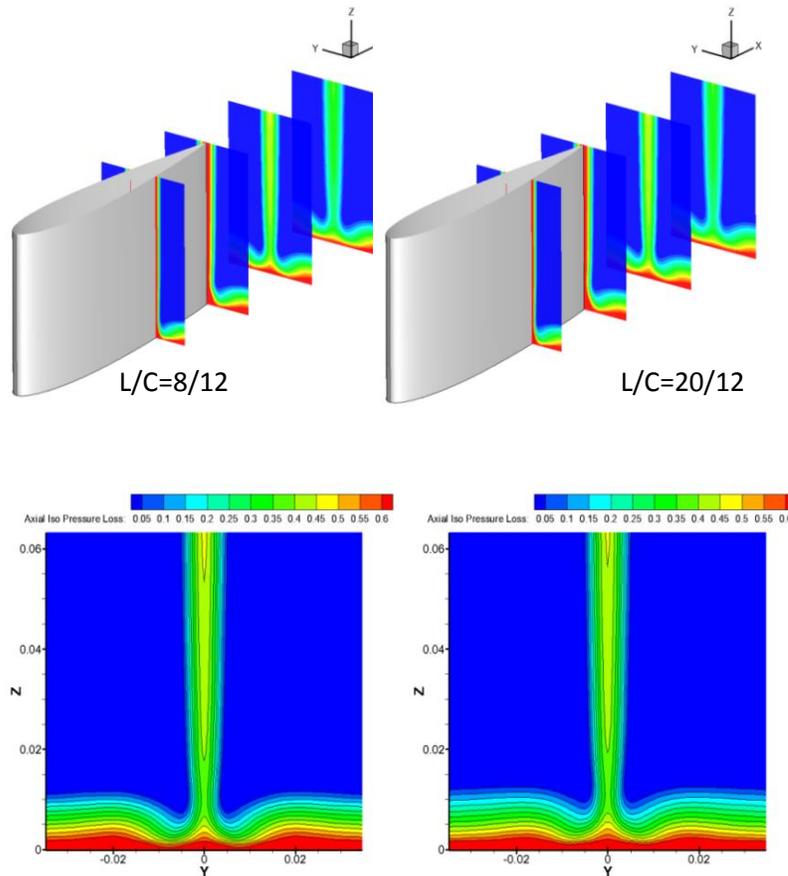
Gambar 6 Kontur kecepatan dan topologi aliran 3D.

*Blockage* aliran di daerah *downstream* dapat dipresentasikan dalam paparan kerugian energi pada arah aksial. Berdasarkan persamaan kekekalan energi menggunakan penjumlahan energi tekanan dan energi kinetik, sedangkan untuk energi potensial diabaikan. Parameter ini digunakan dengan tekanan total yang merupakan penjumlahan dari tekanan statis dan tekanan dinamis. Persamaan kerugian tekanan total arah aksial berdasarkan persamaan dibawah ini :

$$\text{Axial total pressure loss coefficient} = \xi_{axial} = \frac{P_{t,\infty} - P_{t,c}}{\frac{1}{2} \rho \bar{V}_{x\infty}^2}$$

Hasil simulasi terjadi kerugian energi pada daerah *downstream* dipresentasikan pada gambar 6, dimana daerah warna biru yang mengindikasikan daerah bebas dari penyumbatan lebih menguasai daerah *downstream*. Selain itu khusus di daerah *corner*, *blockage* aliran semakin kecil dibandingkan dengan FFST jauh dari bodi. Hal ini merupakan fenomena teori baru, bahwa aliran dengan intensitas turbulensi yang tinggi lebih efektif mereduksi terjadi *blockage* pada daerah *downstream* apabila dibandingkan momentum yang lebih kuat. Peristiwa ini memberikan informasi bahwa momentum aliran yang tinggi dibutuhkan di dalam formasi *horseshoe vortex* ketika aliran memasuki daerah *adverse pressure* yaitu setelah *thicknes* maksimum bodi. Peningkatan momentum yang tepat di daerah tersebut terjadi dihasilkan oleh posisi FFST terhadap bodi L/C=8/12. Dimana aliran awal ketika melintasi *leading edge* diharapkan memiliki momentum yang lebih dan *attachment line* yang berasal dari *end stagnation point* lebih kuat, sehingga aliran

*inviscid* akan lebih bergerak menuju bidang tumpu. Hal ini disebabkan daerah tersebut kosong lebih luas, akibat terblokednya aliran primer oleh *separation line 3D* yang membuka dan menjauh dari kontur bodi. Peristiwa momentum aliran yang kuat di dalam formasi *horseshoe vortex* akibat konversi energi intensitas turbulensi menjadi momentum secara berangsur-angsur sepanjang lintasan *attachment line*. Kenaikan momentum di awal formasi *horseshoe vortex* kurang efektif dan tidak terlalu tepat digunakan mereduksi *blockage* di dalam formasi *horseshoe vortex*, sebab momentum sekuat apapun tidak akan mampu menembus formasi *separation line 3D* dari arah *upstream*.



Gambar 6 Axial Iso total pressure loss coefficient

Analisa efektifitas FFST dalam mereduksi terjadi kerugian energi ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil efektifitas FFST terbaik secara kuantitatif terjadi pada posisi  $X/C=12/12$ , namun pada  $X/C=8/12$  dihasilkan hasil yang mendekati sama, yaitu *Iso total pressure loss* tereduksi sebesar 24%. Kerugian energi yang terjadi seiring dengan menjauhnya posisi bodi dengan FFST akan semakin berkurang sehingga berdampak terhadap penurunan efektifitas FFST. Namun posisi FFST yang sangat dekat terhadap bodi, yaitu pada  $L/C=4/12$  ditunjukkan reduksi kerugian energi yang paling kecil. Hal ini disebabkan oleh posisi tersebut aliran masih berada di daerah *reattachment flow* (resirkulasi) dibandingkan dengan posisi lainnya, sehingga aliran masih labil dan peristiwa *recovery* aliran terlambat. Oleh karena itu aplikasi Wu dan Zhong [9] menurut hasil evaluasi fundamental ini posisi FFST diletak tepat pada *leading edge* bukan posisi yang paling efektif, sedangkan yang terbaik adalah  $L=4/12 X/C$  dari panjang *chord length*.

Tabel 1 Efektivitas reduksi penyumbatan aliran pada daerah *downstream*.

L/C	Total Pressure Loss	
	Out	Persen
Without	0.162	0.00%
4/12	0.131	-19.1%
8/12	0.123	-24.0%
12/12	0.123	-24.1%
16/12	0.124	-23.4%
20/12	0.126	-22.4%

## 5. Kesimpulan

Reduksi energi akibat aliran sekunder melalui FFST paling efektif digunakan pada jarak  $L/C=8/12$ . Hal ini disebabkan pada kondisi tersebut terbentuk struktur aliran 3D sebagai berikut ini:

- ✓ Karakteristik aliran setelah melintasi FFST telah melewati peristiwa resirkulasi aliran, sehingga mampu dihasilkan intensitas turbulensi yang tinggi dan komponen kecepatan semuanya bergerak menuju *downstream* dengan kekuatan yang kecil.
- ✓ Separation line 3D pada aliran dengan intensitas turbulensi yang tinggi masih belum mampu mempresentasikan terjadi *blockage* di *downstream*, sehingga dibutuhkan pengamatan terhadap *end stagnation point*.
- ✓ *End stagnation point* merupakan muara semua *attachment line* di dalam formasi *horseshoe vortex*, sehingga posisi semakin menjauhi bidang tumpu akan menuju daerah *inviscid flow* yang selalu memiliki energi yang lebih besar.
- ✓ *Blockage* disebabkan oleh *attachment line* yang menelusuri bodi kontur, apabila energi aliran semakin akan bergerak lebih berimpit dan tertutup menelusuri bodi kontur sehingga memiliki komponen energi menuju *downstream* semakin kuat.
- ✓ Intensitas turbulensi yang lebih tinggi lebih efektif digunakan mereduksi aliran sekunder dibandingkan dengan momentum aliran yang kuat.

## 6. Daftar Pustaka

- [1]. Gross, A., Kremheller, A., Fasel, H. F., (2011), "Simulation of Flow over Suoff Bare Hull Model", 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4-7 January, Orlando, Florida.
- [2]. Horlock, J.H., Lakshminarayana, B., (1987), "Leakage and Secondary Flows in Compressor Cascades", Ministry of Tecnology Aeronautical Research Council Report and Memoranda No.3483.
- [3]. Abdulla, A. K., Bhargava, R. K., and Raj, R., (1991), "An Experimental Study of Local Wall Shear Stress, Surface Statics Pressure, and Flow Visualization Upstream, Alongside, and Downstream of a Blade Endwall Corner", Journal of Turbomachinery, Vol. 113, pp. 626-632.
- [4]. Merati, P & McMahont, H.M et al (1991), "Experimental Investigation of a Turbulent Flow in The Vicinity of an Appendage Mounted on a Flat Plate", Journal of Fluid Engineering, vol 113, pp. 635 – 642.
- [5]. Mirmanto, Sasongko, (2009), "Reduksi Kerugian Sekunder Melalui Penambahan Leading Edge Fairing". Jurnal Teknik Mesin ITS Surabaya, Mei 2009.
- [6]. Steenaert, C.B., Oudheusden, V., Boermans, L. M. M., (2002), "Simple Approach for the Design of a Wing Body Fairing", CEAS Aerospace Aerodynamics Research Cambridge, UK.
- [7]. Serry, M. J., Jacono, D.L., Sheridan, J., (2009), "Flow Separation Characterisation of a Forward Facing Step immersed in a Turbulent Boundary Layer", Sixth International Symposium of Turbulence and Shear Flow Phenomena, Seoul, Korea, 22-24 June.
- [8]. Wu dan Zhong, (2003), "Flow Visualization for the Endwall Region of a Fist Stage Vane with a Forward Facing Entrance Step", Proceedings of PASFVIP-4, France.