

**STUDI NUMERIK REDUKSI SEPARASI ALIRAN 3D  
MELALUI PENAMBAHAN *BLUFF RECTANGULAR TURBULATOR* (BRT)  
(STUDI KASUS DI DAERAH *JUNCTION ASYMMETRY AIRFOIL 9C7/32.5C50*)**

Heru Mirmanto<sup>1</sup>, Sutrisno<sup>2</sup>, Herman Sasongko<sup>3</sup>  
1,2,3Jurusan Teknik Mesin FTI, ITS, Surabaya  
2Jurusan Teknik Mesin FTI, UK.Petra, Surabaya

Email : samir@ms.its.ac.id

**Abstrak**

*Separasi aliran 3-D merupakan suatu bentuk kerugian energi aliran di daerah junction yang tidak dapat dihindarkan. Kondisi ini dapat dijumpai pada interaksi wing dengan fuselage pada pesawat terbang atau interaksi blade dengan hub pada famili mesin-mesin turbo, dll. Separasi aliran ini menyebabkan terjadinya penyumbatan aliran (kerugian energi). Oleh karena itu perlu upaya mereduksi kerugian akibat separasi aliran 3D di daerah endwall junction. Penelitian ini dilakukan secara numerik untuk mengkaji perbandingan karakteristik aliran di daerah interaksi endwall junction asimetri airfoil British 9C7/32.5C50 akibat penggunaan Bluff Rectangular Turbulator (BRT) dan tanpa BRT. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Fluent 6.3.26, model viscous  $S_{k\varepsilon}$  dengan kondisi  $Re = 10^5$ . Dimensi BRT ( $d/C=4/10$ ), Jarak Turbulator dengan Bodi ( $L_d/C = 2/3$ ), Jarak turbulator dengan inlet flow ( $d/L_u=0.075$ ). Variasi angle of attack  $\alpha = 4^\circ$  dan  $8^\circ$ . Kaji kualitatif dilakukan terhadap visualisasi kontur kecepatan, streamline di sekeliling bodi, serta Isototal pressure loss coefficient di daerah downstream. Sedangkan kaji kuantitatif dilakukan terhadap nilai surface integral di daerah outflow. Penggunaan Bluff Rectangular Turbulator membuat aliran lebih turbulent, dimana energi yang dimiliki lebih besar. Sehingga aliran ini lebih mampu mengatasi adverse pressure gradient. Akibatnya posisi forward saddle point lebih mendekati leading edge bila dibanding tanpa turbulator. Hal ini akan mempersempit luasan corner wake yang terjadi di blade upper surface, dengan demikian blockage aliran dapat direduksi. Kondisi ini dibuktikan pada angle of attack  $4^\circ, 8^\circ$  penggunaan BRT dapat mereduksi Isototal pressure loss coefficient sebesar 56%, 41%.*

**Kata Kunci:** secondary flow, separation, vortex, bubble separation, airfoils, turbulent.

**PENDAHULUAN**

Kerugian energi yang terjadi di daerah *junction* disebabkan oleh separasi aliran 3D. Kondisi ini dapat dijumpai pada interaksi *wing* dengan *fuselage* pada pesawat terbang atau interaksi *blade* dengan *hub* pada famili mesin-mesin turbo, dll. Secara fundamental fenomena terjadinya separasi aliran 3D diawali dengan kajian terhadap bodi tunggal. Sebab separasi aliran pada bodi tunggal hanya akibat interaksi aliran viscous dua lapisan batas, yaitu bodi dan *endwall*. Separasi aliran 3D selalu diawali terjadi *saddle point* di depan *leading edge*. *Saddle point* adalah bertemunya dua *attachment line*, yaitu *attachment line* dari *free-stream* dan *attachment line* dari *leading edge* selanjutnya aliran terseparasi secara 3D. ketika bertemu dengan *free-stream* disampingnya akan menimbulkan *skewed boundary layer*. *Skewed boundary layer* inilah yang menyebabkan terjadi *adverse pressure gradient* di depan *leading edge*. *Separation* 3D bergerak secara *roll-up* dan bergerak menyelimuti bodi. Formasi aliran tersebut membentuk tapak kuda sehingga disebut dengan *horse-shoe vortex*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dipaparkan pertama kali oleh Tobak dan Peak, (1982). Penelitian tersebut dilanjutkan oleh Surana dkk(2006) dengan mengkaji fenomena separasi aliran 3D

diselesaikan secara *exact theory* dengan menggunakan *nonlinear dynamical system methods* pada persamaan *Navier Stokes*.

Separasi aliran 3D merupakan penyebab terbesar terjadi kerugian hidrolis yang paling besar yaitu 50%. Sedangkan kerugian hidrolis aliran yang lainnya disebabkan oleh gesekan pada dinding sebesar 30% dan bentuk atau profil sebesar 20%. Hal ini dikemukakan oleh Horlock dan Lakshminarayana(1987) yang terjadi pada *axial compressor*. Separasi aliran 3D sering terjadi pada kompresor dikarenakan aliran akan menghadapi kenaikan tekanan. Oleh karena itu perlu upaya mereduksi kerugian akibat separasi aliran 3D di daerah *endwall junction* agar dapat meningkatkan kinerja kerja suatu sistem.

Devenport melakukan penelitian dengan memfokuskan pada penggunaan *fillet radius* konstan di sambungan dasar antara *wing* dan *endwall*. Namun pembahasan tersebut belum mampu merubah struktur aliran. Kemudian Devenport dkk(1992) melanjutkan penelitiannya dengan meletakkan *fairing* di depan *leading edge*, hasil yang didapatkan terjadi penurunan *nonuniformity*, *unsteadiness wake* dan intensitas turbulensi. Selain itu peneliti yang lain, yaitu Steenaert dkk(2002) memaparkan hal yang serupa yaitu pada sambungan *fairing wing* dan plat datar

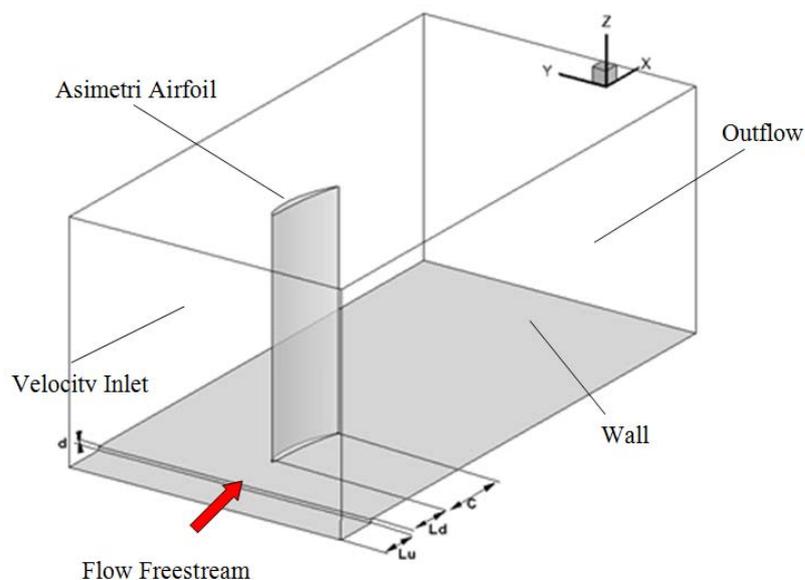
ditemukan laminarisasi separasi *vortex*. Selain itu modifikasi pada bodi tunggal pernah dilakukan oleh Rosi(2009), dengan digunakannya *fairing* pada daerah *leading edge*. Hasil eksperimental penggunaan *fairing* berdampak terhadap berkurangnya *adverse pressure gradient*, *forward saddle point* menjauh dari *leading edge* dan intensitas *vortex* lebih mengecil. Hal ini yang mengindikasikan bahwa terbentuknya *blockage* dan aliran *low momentum* lebih menguasai pada bodi tanpa *fairing*. Dampaknya aliran tersebut mengalami penyumbatan lebih besar. Indikator tersebut menginformasikan bahwa dengan menggunakan *fairing* dapat berperan penting untuk mengurangi terjadi separasi aliran 3D. Oleh karena itu diperlukan upaya lain untuk mereduksi terjadi separasi aliran 3D.

Upaya lain mereduksi terjadinya *separation* 3D dengan memperbesar energi momentum pada aliran *free stream*. Penggunaan turbulator menghasilkan aliran memiliki momentum dan intensitas turbulensi besar yang lebih besar sehingga digunakan dalam masalah ini. Beberapa peneliti seperti Yaghoubi dan Mahmoodi(2004) melakukan eksperimental terhadap karakteristik aliran di sekitar *bluff rectangular* turbulator (BRT), hasilnya terjadi *bubble separation* tepat setelah melintasi BRT. Titik *reattachment* aliran atau berkembangnya kembali aliran pada kondisi semula sangat ditentukan oleh dimensi BRT itu sendiri. Hal ini didukung hasil simulasi yang telah dilakukan oleh Suksangpanomrung dkk(2002) dengan pengamatan kondisi *unsteady*. Pada penelitian sebelumnya Djijali(1991) telah membandingkan hasil numerik dan eksperimen pada kondisi *steady*. Hasilnya pada aliran yang mendarat didekat *endwall* mengalami hambatan, akibatnya aliran tersebut bergerak ke atas dan *streamline* terbuka, kemudian

aliran tersebut bertemu dengan aliran *free stream* di atasnya. Interaksi kedua aliran tersebut menyebabkan *streamtube* menyempit sehingga terjadi akselerasi aliran. Ketika aliran yang terseparasi memiliki energi momentum yang cukup untuk kembali ke posisi semula, peristiwa itu disebut sebagai *reattachment flow* atau *bubble separation*. Hal ini menyebabkan terjadi peningkatan intensitas turbulensi dan momentum di dekat *endwall*. Kemudian Velayati dan Yaghoubi(2005) melanjutkan penelitian BRT yang diletakan secara paralel. Hasil penelitian tersebut menyatakan untuk daerah *endwall* dan *tip*, *bubble separation size* semakin kecil. Oleh karena itu diperlukan pengkajian penggunaan BRT untuk diaplikasikan mengurangi terjadinya separasi 3D di dekat *endwall*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan analisa simulasi numerik *Computation Fluid Mechanic*(CFD) untuk mengamati karakteristik aliran bodi tunggal British 9C7/32.5C50 dengan BRT dan tanpa BRT. Domain simulasi ditunjukkan pada gambar 1. Dimensi BRT ( $d/C=4/10$ ), Jarak Turbulator dengan Bodi ( $Ld/C=2/3$ ), Jarak turbulator dengan *inlet flow* ( $d/Lu=0.075$ ). Variasi *angle of attack*( $\alpha$ )  $\alpha = 4^\circ$  dan  $8^\circ$ . Karakteristik aliran *free stream* dengan  $Re_d=10^5$ , Intensitas turbulensi ( $Tu$ ) 5%. Bidang depan dinyatakan dengan *initial condition velocity inlet*, bidang belakang dinyatakan dengan *outflow*, sedangkan *endwall* dan bodi dinyatakan sebagai *wall*. Sedangkan Bidang sisi kanan, kiri dan atas dinyatakan sebagai *symmetry*.



Gambar 1 Domain Penelitian

Model viscous yang digunakan adalah *Standard K-Epsilon* (SKE) dan kriteria konvergensi  $10^{-5}$ . Selain itu hubungan antara perhitungan tekanan dan kecepatan menggunakan SIMPLEC. Jumlah mesh

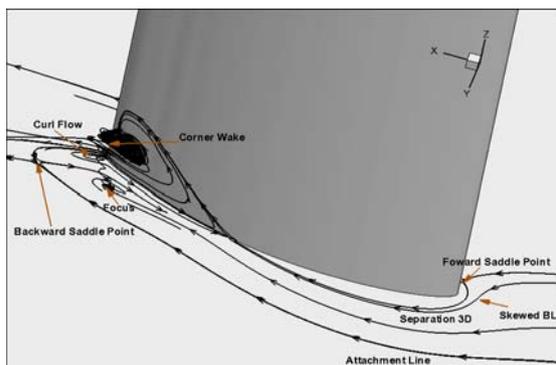
yang digunakan 2 juta, dengan bentuk mesh Hexagonal dan kualitas dibawah 0.6. *Nearwall treatment* menggunakan *standart wall function*,

sedangkan *discretization equation* menggunakan *first order*.

Penelitian ini akan mengamati terjadi separasi aliran 3D dengan menampilkan streamline aliran di *endwall*. Efek penyumbatan aliran dipaparkan secara kualitatif dan kuantitatif. Pemaparan secara kualitatif dilakukan dengan cara menampilkan terjadi *corner-wake* di *suction side* body khususnya disekitar *trailing edge*. Sedangkan terjadinya penyumbatan aliran dipaparkan dengan kontur *iso total pressure loss* di daerah *downstream*. Pada kajian kuantitatif akan menampilkan persentasi reduksi *iso total pressure loss* di daerah *downstream*.

## HASIL DAN DISKUSI

Separasi aliran 3D diawali terjadi *foward saddle point*(FSP) di depan *leading edge*, sama seperti yang diungkapkan oleh Tobak dan Peake(1982). Kemudian separasi aliran 3D bergerak menelusuri bodi di kedua sisi, yaitu *upper side* dan *lower side*. Pada sisi *lower side* aliran separasi 3D terus bergerak menelusuri bodi menuju *downstream*. Sedangkan aliran separasi 3D di sisi *upper side* bergerak mendekati bodi dan bertemu dengan *backflow* dari *curlflow*. Pertemuan ini menyebabkan separasi aliran semakin hebat, kemudian berhadapan dengan *adverse pressure gradient*. Pada daerah tersebut *adverse pressure gradient* disebabkan oleh bentuk *profile body*. Separasi aliran 3D tersebut tidak mampu menghadapi *adverse pressure gradient* sehingga aliran berpusar yang disebut dengan *vortex*. Pusaran aliran tersebut sering disebut sebagai *corner wake*. Pada aliran terjadi *corner wake* merupakan penyebab terjadi penyumbatan aliran.

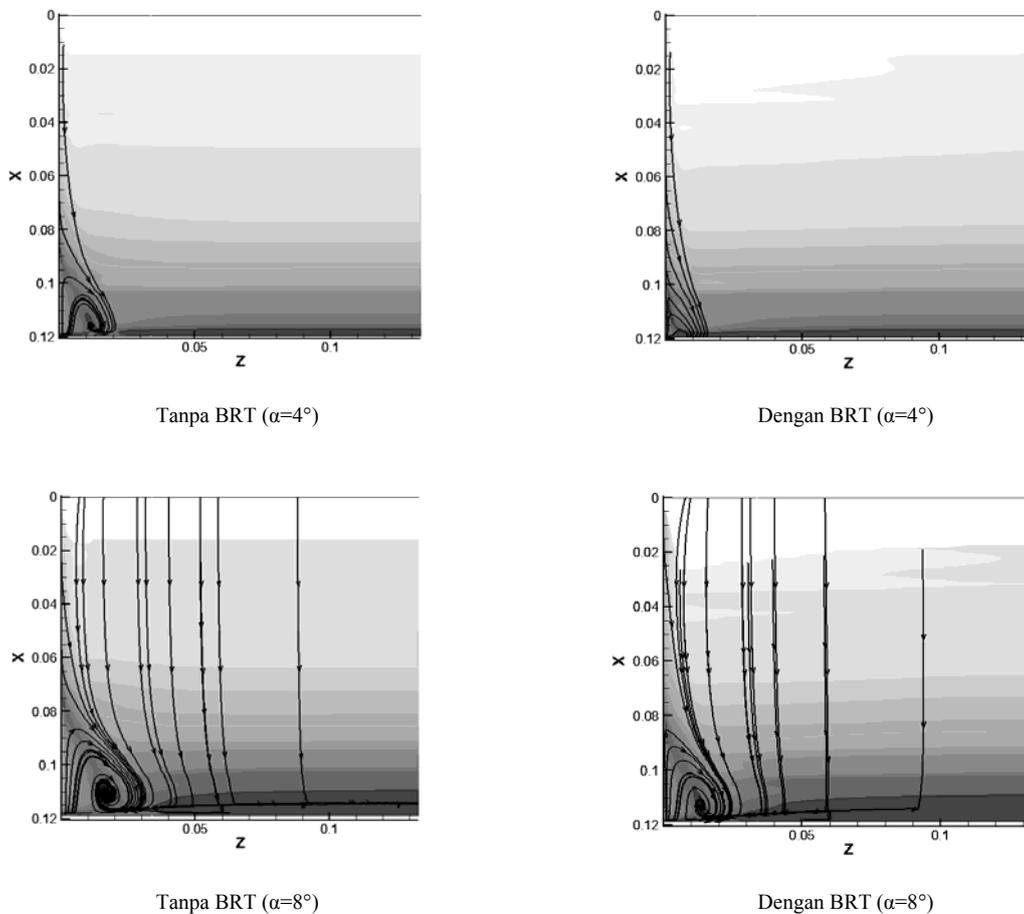


Gambar 2 Topologi Aliran Melintasi *Single Body* Pada AoA 8°.

Pada AoA 8° terjadi *corner wake* lebih kuat. Hal ini disebabkan oleh interaksi bertemunya *attachment line* dari *free stream upper side* dan *attachment line* dari *lower side*, yang disebut sebagai *backward saddle point*(BSP) semakin menjauhi *trailing edge*. Dampaknya *vortex area* akan semakin besar dan menyebabkan *corner wake* semakin hebat. Selain itu *attachment line free stream upper side* diantara *attachment line* terbentuk *backward saddle point* dan *cross flow* menyebabkan terjadi *focus*. *Focus* merupakan jenis *vortex* baru yang bergerak ke arah span bertemu dengan *corner wake*. Hal ini menyebabkan terjadi *corner wake* semakin besar. Pada gambar 2 dipaparkan topologi terjadi *corner wake* pada AoA 8°.

*Corner wake* yang terbentuk akibat peningkatan AoA akan semakin membesar, hal ini terjadi untuk kedua jenis *endwall*. Penelitian ini tidak memfokuskan pengamatan perbedaan AoA, namun titik beratkan pada manfaat penggunaan BRT untuk setiap AoA. Efektivitas penggunaan dengan BRT dan tanpa BRT terbukti pada gambar 3, bahwa terjadi *corner wake* di *upper side* dekat dengan *trailing edge* mengalami pengecilan, baik pada AoA 4° dan 8°. Besar kecilnya formasi *horseshoe vortex* sangat menentukan terjadi *corner wake*, sehingga diperlukan eksplorasi lebih detail terhadap berkembang *horseshoe vortex* di dekat *trailing edge*. Formasi *horseshoe vortex* bermula pada terbentuk FSP, namun perbedaan letak FSP tidak terlalu signifikan perbedaannya antara tanpa BRT dan dengan BRT.

Pada gambar 4 menjelaskan penelusuran *streamline* aliran melintasi *endwall*. Pada setiap AOA *attachment line free stream* penggunaan BRT lebih berimpit dengan *upper side body* dibandingkan tanpa BRT. Akibatnya BSP selalu bergerak mendekati *trailing edge* akan menyebabkan daerah vortex mengecil. Peningkatan AoA selalu memicu terjadi *curlflow* semakin besar, hal ini disebabkan perbedaan tekanan antara *upper side* dengan *lower side* akan semakin besar. Selain itu pada bodi di *upper side* defleksi *skin friction line* lebih tajam menuju *midspan* dengan luasan pengikisan vortex semakin lebar. Hal ini yang menyebabkan intensitas vortex semakin lebar seiring dengan peningkatan AoA.

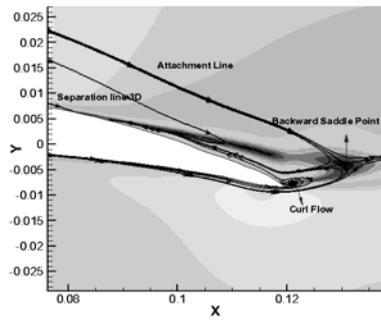


Gambar 3. Streamline Aliran Di Bodi Upper side .

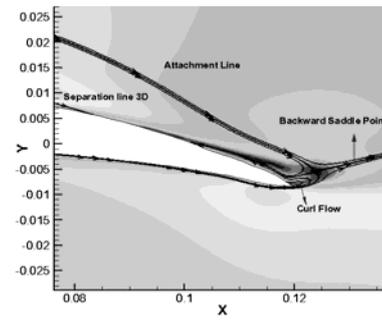
Pada AOA 8° tanpa BRT tampak terjadinya *focus vortex*. Vortex ini terjadi berawal dari ketidakmampuan *free stream* melawan *backflow* dari BSP, diperkuat oleh *backflow* dari *curl flow* yang menyebabkan vortex yang baru. Semua vortex akan bermuara pada *corner-wake*. Ini mengindikasikan bahwa *corner wake* lebih menguasai sehingga penyumbatan aliran (*blockage*) akan semakin besar. Namun pada aliran dengan penggunaan BRT tidak terjadi *focus*. Hal ini menunjukkan efektifitas BRT dapat menghilangkan salah satu vortex yaitu *focus* di daerah *upper side*. Selain itu penggunaan BRT sama dengan sudut sebelumnya yaitu BSP semakin dekat dengan *leading edge*.

Efek terjadi *corner wake* akan berdampak pada penyumbatan aliran (*blockage*) di daerah *downstream*. Pada gambar 5 menunjukkan kontur koefisien *axial total pressure loss* di sepanjang *trailing edge*. Informasi penyumbatan aliran akibat aliran separasi 3D akan dipaparkan oleh nilai koefisien *axial total iso pressure losses* yang semakin besar. Pada kontur tersebut menggunakan nilai 0-0.6. Pada *Axial iso total pressure losses*

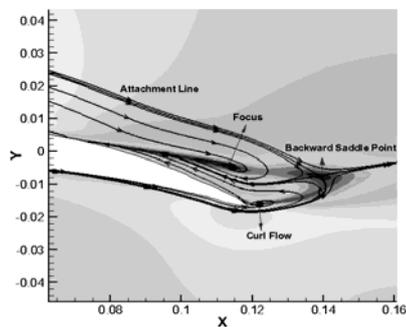
dengan 0.6 menyatakan 60% kecepatan ke arah axial akan tereduksi sebesar 60%. Kerugian hidrolis aliran yang diinformasikan berupa kontur koefisien *axial iso total pressure loss* akan semakin seiring dengan penambahan AOA. Hal ini sama yang terjadi pada pemaparan vortex melalui streamline aliran. Penggunaan BRT dapat mengurangi terjadi *blockage* di dekat *endwall* dan *trailing edge*, dipaparkan pada gambar 5 dengan AoA 4°. Area dengan nilai *axial iso pressure losses coefficient* 0.6 dengan BRT mengecil dibandingkan tanpa BRT. Pada pemaparan tersebut kerugian akibat separasi 3D berkurang sangat besar sehingga mendekati kerugian akibat 2D. Namun pada daerah *upper side* dekat *endwall* terjadi kenaikan *blockage* yang diindikasikan peningkatan daerah 0.6. Selain itu daerah agak jauh daritersebut dengan BRT dapat memperkuat aliran sehingga kontur memperkuat 10% aliran. Penggunaan BRT dapat memperkuat aliran pada *lower side* di dekat *trailing edge* dan sedikit menghambat aliran di dekat *endwall* ke arah *lower side*. Pada AoA 8° yang terjadi hampir sama dengan AoA sebelumnya.



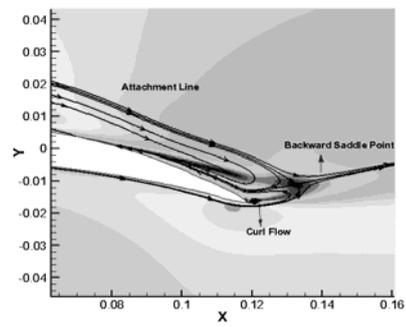
Tanpa BRT ( $\alpha=4^\circ$ )



Dengan BRT ( $\alpha=4^\circ$ )

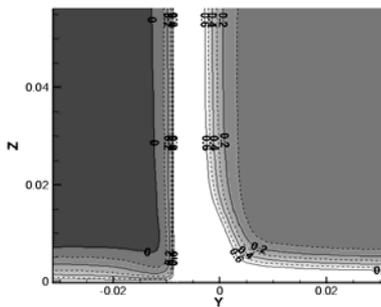


Tanpa BRT ( $\alpha=8^\circ$ )

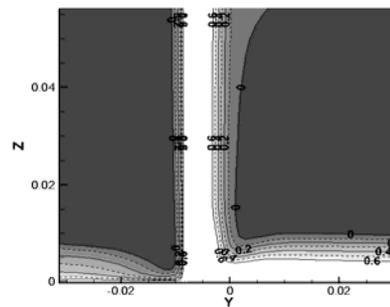


Dengan BRT ( $\alpha=8^\circ$ )

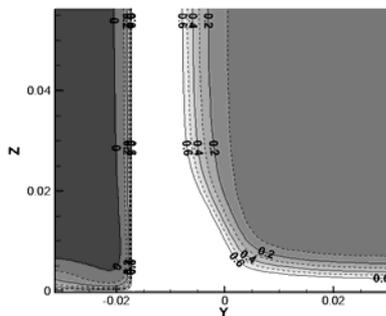
Gambar 4. Streamline Aliran Di Bodi Upper side .



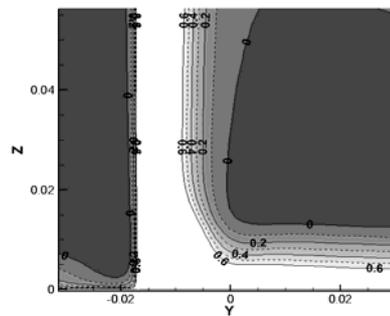
Tanpa BRT ( $\alpha=4^\circ$ )



Dengan BRT ( $\alpha=4^\circ$ )



Tanpa BRT ( $\alpha=8^\circ$ )



Dengan BRT ( $\alpha=8^\circ$ )

Gambar 5. Kontur Koefisien Axial Iso Total Pressure Loss Pada Trailing Edge.

Pengamatan kerugian hidrolis dilakukan secara kualitatif tidak dapat menginformasikan secara nilai perbandingan secara tetap, sehingga diperlukan pengkajian secara kuantitatif. Kajian ini dilakukan dengan pemaparan nilai dari *surface intergral* koefisien *axial iso total pressure loss* di *outflow*. Pada tabel 1 memaparkan bahwa pada AOA 4° dan 8°, penggunaan BRT dapat mereduksi kerugian hidrolis sebesar 56.64% dan 41.73%. Hal ini menunjukkan bahwa efektifitas penggunaan BRT pada kedua sudut adalah agak berbeda berbeda.

Semakin besar AoA maka efektifitasnya penggunaan BRT menurun, namun pada kajian kualitatif efek penggunaan BRT pada AoA lebih besar dapat mengurangi terjadi vortex yang besar. Hal ini dibuktikan pada AoA 8° penggunaan BRT dapat menghindari terjadi *focus* di *upper side*. Pada kajian ini menyatakan bahwa penggunaan lebih baik digunakan pada AoA yang kecil. Perbedaan antara kedua AoA tersebut sebesar 15% lebih efektif apabila digunakan pada AoA 4°.

Tabel 1.1 Axial Iso Pressure Losses Di Outflow.

Endwall	Angle of Attack	Axial Iso Pressure Losses Coefficient	
			%
Tanpa BRT	4°	0.04135	0.00%
Dengan BRT	4°	0.01793	-56.64%
Tanpa BRT	8°	0.05073	0.00%
Dengan BRT	8°	0.02956	-41.73%

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan BRT dapat memperkuat momentum aliran sehingga aliran lebih tangguh menghadapi hambatan aliran. Sedangkan dari kajian numerik didapatkan bahwa penggunaan BRT dapat menghasilkan beberapa karakteristik aliran, yaitu:

- Terbentuknya *Foward Saddle Point* (FSP) lebih maju mendekati *leading edge*, walaupun tidak signifikan.
- *Backward Saddle Point* (BSP) semakin mundur mendekati *Trailing edge*.
- Formasi separasi aliran 3D semakin berimpit dengan bodi, sehingga *horseshoe vortex size* semakin kecil.
- *Corner wake* yang terbentuk *upper side* lebih kecil dibandingkan tanpa BRT sehingga *blockage flow* mengecil.
- Pada AoA 8° dapat menghilangkan terjadi *focus vortex*.
- Efektifitasnya BRT pada AoA 4° dapat mereduksi penyumbatan sebesar 56.64%, sedangkan pada AoA 8° dapat mereduksi penyumbatan sebesar 41.73%. Hal ini menyatakan bahwa semakin besar AoA efektifitas penggunaan BRT semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

Devenport, W. J., dan Simpson, R. L., (1990), *Time Dependent and Time Averaged Turbulent Structure Near the Nose of a Wing-Body Junction*, Journal of Fluid Mechanic, vol.210, pp.23-55.

- Devenport, W.J., Simpson, R. L, dan Devenport, W. J., (1992), *An Experimental Study of a Wing-Body Junction and Wake Flow*, AIAA Journal-92-0434 99. 1-12.
- Djilali, N., Gratschew, I.S., (1991), *Turbulent flow around a bluff rectangular plate, Part I: Experimental investigation*, ASME Trans. Fluid Eng. 11(1991)51-59.
- Horlock, J.H., Lakshminarayana, B., (1987), *Leakage and Secondary Flows in Compressor Cascades*, Ministry of Technology Aeronautical Research Council Report and Memoranda No.3483.
- Suksangpanomrung, A., Djilali, N., Moinat, P., (2002), *Large-eddy simulation of separated flow over a bluff rectangular plate*, Internasional Journal of heat transfer fluid flow 21-655-663.
- Surana, A., Jacobs. G., Grunberg. O., Haller. G., (2006), *Exact Theory of Three Dimensional Flow Separation, Part II: Fixed Unsteady separation*, under consideration for publication in Jurnal of Fluid Mechanics.
- Rosi. Khoiril., (2009), *Studi Eksperimental dan Numerik Efek Fairing Leading Edge Terhadap Separasi Aliran 3D Pada Wing-Body Junction*. Thesis Program Magister, ITS, Surabaya.
- Velayati, E., Yaghoubi, M., (2005), *Numerical Study of Convective Heat Transfer From an Array of Parallel Bluff Plate*, International Journal Elsevier of Heat and Fluid Flow 26-80-91.
- Yaghoubi. M, Mahmoodi. S, (2004), *Experiment study of turbulent separated and reattached flow over a finite blunt plate*, Ekperimental Thermal and Fluid Science 29- 105-112.