

Studi Numerik Penambahan Momentum Aliran Melalui Penggunaan *Bluff Rectangular Turbulator* (BRT) Di Depan *Leading Edge* (Studi Kasus Di Daerah *Junction* Simetris Airfoil NACA 0015)

Herman Sasongko¹, Heru Mirmanto¹, Sutrisno^{1,2}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo, Surabaya, 60111

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Krisen Petra, Siwalankerto 121-131, Surabaya, 60236
Email: tengsutrisno@peter.petra.ac.id

Abstrak

Separasi aliran 3-D merupakan interaksi dua aliran *viscous* yang saling berdekatan. Aliran tersebut menyebabkan kerugian hidrolis sangat besar sehingga menjadi faktor dominan terjadinya penyumbatan aliran (kerugian energi). Pada *turbomachinery* separasi aliran 3D biasanya terjadi di daerah *junction* antara lain *hub* dan *tip*. Selain itu kondisi ini dapat dijumpai pada interaksi *wing* dengan *fuselage* pada pesawat terbang dan interaksi tiang penyangga jembatan dengan aliran sungai. Karena kerugian hidrolis yang dominan disebabkan oleh separasi aliran 3D, maka diperlukan upaya mereduksi terjadinya aliran tersebut.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menyatakan bahwa *Bluff Rectangular Turbulator* (BRT) dapat menghasilkan aliran memiliki momentum dan intensitas turbulensi yang tinggi. Sehingga penelitian ini akan mengaplikasikan penggunaan BRT untuk mereduksi terjadinya separasi aliran 3D pada daerah *junction* bodi tunggal dan *endwall*. Bentuk profil bodi yang digunakan adalah Airfoil NACA 0015 dengan *angle of attack* 0°. Simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *Computation Fluid Dynamic* (FLUENT 6.3.26), model *viscous* S_{μ} 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* ($d/L_{in}=0.075$). Penelitian ini memaparkan karakteristik aliran yang melintasi bodi dan *endwall* dengan cara kajian kualitatif terhadap visualisasi kontur kecepatan, *streamline* di sekeliling bodi, serta *Axial Isototal pressure loss coefficient* di daerah *downstream*. Sedangkan kajian kuantitatif dilakukan terhadap nilai *surface integral* di daerah *outflow*.

Penggunaan *Bluff Rectangular Turbulator* terbukti menghasilkan aliran lebih *turbulent*, dimana energi yang dimiliki lebih besar. Sehingga aliran ini lebih mampu mengatasi *adverse pressure gradient*. Akibatnya *attachment line* yang terbentuk lebih berimpit terhadap bodi, walaupun garis *separation line* terlihat menjauhi bodi aliran. Pada koefisien tekanan di daerah *leading edge* menghasilkan nilai yang lebih kecil, hal tersebut mengindikasikan bahwa momentum aliran semakin membesar. Untuk *Axial Isototal Pressure Losses Coefficient* di daerah *downstream* mengalami pengecilan tepat di daerah *trailing edge* sebesar 2cm sedangkan pada *endwall* terjadi penebalan *boundary layer* sebesar 2mm. Secara kuantitatif penggunaan BRT dapat mereduksi terjadi penyumbatan aliran sebesar 54%.

Keywords: *secondary flow, separation, vortex, bubble separation, airfoils, turbulent.*

Pendahuluan

Separasi aliran 3-D merupakan interaksi dua aliran *viscous* yang saling berdekatan. Pada *turbomachinery* separasi aliran 3D biasanya terjadi di daerah *junction* antara lain *hub* dan *tip*. Selain itu kondisi ini dapat dijumpai pada interaksi *wing* dengan *fuselage* pada pesawat terbang dan interaksi tiang penyangga jembatan dengan aliran sungai. Penelitian ini difokuskan pada *horseshoe vortex* di daerah *hub* sebab kondisi hanya melibatkan interaksi dua aliran *viscous* antara *endwall* dan bodi. Sedangkan pada daerah *tip* terlibat dua aliran *viscous* antara *casing* dan bodi dan berinteraksi lagi dengan aliran melintang dari sisi

pressure side ke *suction side* akibat perbedaan tekanan.

Separasi aliran 3D pertama kali dipaparkan oleh Tobak dan Peake[1,2], bahwa terjadi selalu ditandai dengan terbentuk *forward saddle point*(FSP) di depan *leading edge*. FSP merupakan titik pertemuan dua *attachment line*, yaitu dari *free stream* dengan dari bodi *leading edge*. Pertemuan itu menyebabkan terjadi *separasi 3D line* yang bergerak secara *roll-up* menyelimuti bodi. Pergerakan *roll-up* aliran separasi 3D di *downstream* akan semakin membesar dan menjauhi *endwall*. Akibatnya dampak penyumbatan aliran di daerah *downstream* sangat besar dibandingkan pada daerah *up stream*. Penelitian

tersebut dilanjutkan oleh Surana dkk[3,4,5] dengan mengkaji fenomena separasi aliran 3D diselesaikan secara *exact theory* dengan menggunakan *nonlinear dynamical system methods* pada persamaan *Navier Stokes*.

Pada kompresor aksial dampak terjadi separasi aliran 3D menyebabkan kerugian hidrolis sebesar 50%, kemudian 30% akibat gesekan dinding dan 20% akibat profil blade. Hal ini dikemukakan oleh Horclock dan Lakshminarayana[6] yang terjadi pada kompresor aksial. Berdasarkan teori tersebut menyatakan bahwa dengan mereduksi terjadinya separasi aliran 3D merupakan cara yang paling efektif untuk meningkatkan kinerja kompresor aksial, sebab separasi aliran 3D merupakan faktor yang paling dominan penyebab terjadi kerugian hidrolis pada saluran. Penyebab terjadi separasi aliran 3D merupakan ketidak mampuan aliran di dekat dinding menghadapi perlawanan *adverse pressure gradient* akibat bentuk dari bodi. Sasongko dan Mirmanto[7] telah melakukan upaya penggunaan *fairing* di depan *leading edge* untuk mengurangi daerah *adverse pressure gradient* telah berhasil mengurangi terjadi separasi aliran. Namun pada *angle of attack* cara tersebut kurang efektif, sehingga dibutuhkan alternatif lain yaitu penambahan momentum aliran di dekat *endwall*.

Yaghoubi dan Mahmoodi[8] melakukan penelitian tentang *boundary layer* aliran eksternal di plat datar dengan menggunakan *bluff rectangular turbulator*(BRT). Karakteristik aliran yang melintasi BRT akan menimbulkan *bubble separasi* tepat setelah melintasi BRT. *Bubble* separasi merupakan aliran yang terseparasi mampu kembali *reattachment* pada jalur semula, sehingga aliran tersebut berpusar di dekat dinding yang menimbulkan efek akselerasi di dekat *endwall*. Efek yang demikian ini yang menyebabkan penambahan momentum aliran di dekat dinding. Fenomena ini telah diungkap sebelumnya oleh Djijali dkk yang melakukan eksperimen tentang fenomena ini. Kemudian Sungsangpanumrong[8] membandingkan hasil eksperimen Djijali dengan hasil analisa numerik secara *unsteady* menunjukkan hasil yang sama, namun khusus analisa numerik *unsteady* memaparkan bahwa *bubble* separasi sesuai saat akan lepas seperti peristiwa *von karman vortex*. Namun penelitian ini akan menggunakan BRT untuk mereduksi terjadi separasi aliran 3D yang terjadi pada bodi tunggal dan *endwall*.

Metoda Penelitian

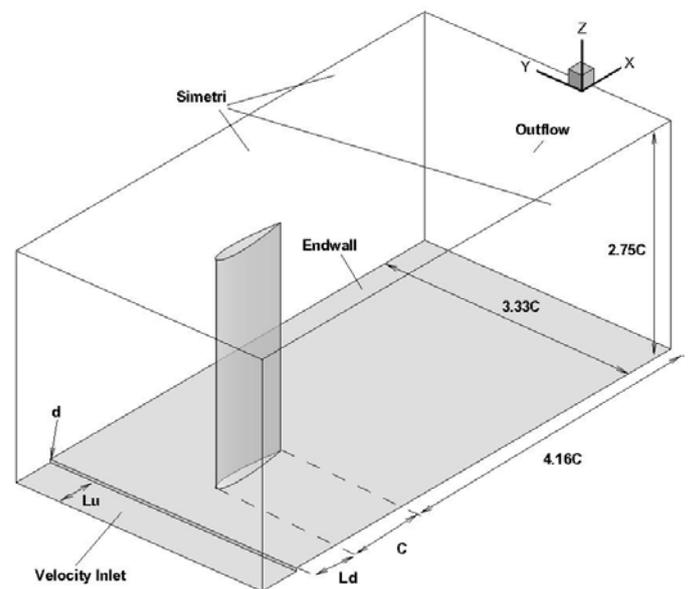
Penelitian ini dilakukan menggunakan analisa numerik dengan software komersial *computation fluid dynamic*(FLUENT 6.3.26) yang sering digunakan pada kajian karakteristik aliran fluida. Fokus penelitian ini membandingkan karakteristik aliran yang melintasi bodi tunggal dekat *endwall* tanpa dan dengan BRT.

Hasilnya akan dipaparkan topologi karakteristik aliran yang melintasi bodi dekat *endwall*. Hal ini berupa terbentuk *forward saddle point*(FSP), *attachment line*, *separation 3D line*, *backward saddle point*(BSP), *focus*, dan *cornerwake* seperti yang diungkapkan oleh Tobak dan Peak. Kemudian kajian dilanjutkan dengan pemaparan distribusi tekanan di sekitar bodi antara *endwall* dan *midspan*. Sedangkan efek penyumbatan aliran di *downstream* akan dipaparkan dengan kontur *Isototal Pressure Losses Coefficient* di belakang *trailing edge* secara kualitatif, sedang untuk kuantitatif akan dipaparkan persentasi pada saluran keluar berupa integrasi permukaan.

Skema Numerik

Model viscous yang digunakan menggunakan *Standard K-Epsilon* (SK- ϵ). Bodi yang digunakan adalah airfoil simetris NACA0015 dengan *angle of attack*(AoA) 0° . Kriteria konvergensi menggunakan 10^{-6} . Aliran fluida *free stream* $Re_c = 10^5$ dengan intensitas turbulensi 5%.

Batasan untuk Dimensi BRT ($d/C=4/10$), Jarak Turbulator dengan Bodi ($L_d/C=2/3$), diasumsikan untuk saat ini. Sedangkan jarak turbulator dengan *inlet flow* ($d/L_u=0.075$) berdasarkan penelitian Sutrisno, dkk[8]. Pada penelitian ini *chord length* memiliki dimensi 120mm. Pada gambar 1 dipaparkan domain metode numerik.

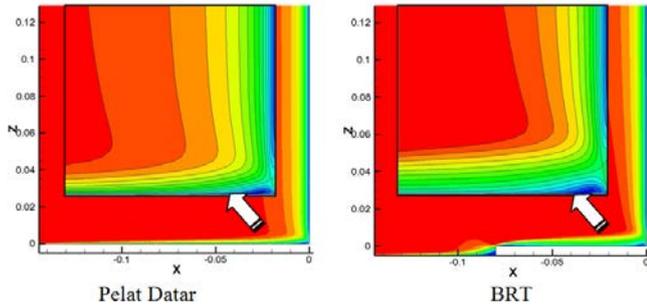


Gambar 1 Domain metode numerik

Hasil dan Pembahasan

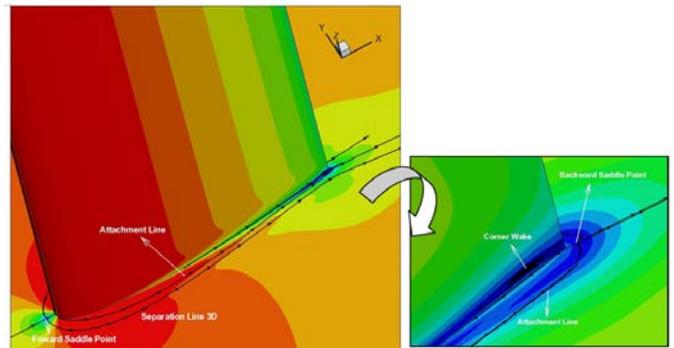
Separasi aliran 3D dimulai pada terbentuk FSP di depan *leading edge* merupakan indikator utama penyebab utama terjadi garis separasi 3D. Pada aliran tanpa BRT terlihat bahwa *streamline* aliran lebih berimpit pada *endwall* namun momentum alirannya

lebih kecil dibandingkan dengan BRT khususnya didekat *leading edge*. Akibat peningkatan momentum tersebut menyebabkan FSP sedikit bergeser mendekati *leading edge* dan berputar lebih kuat, hal tersebut dipaparkan pada gambar 2.



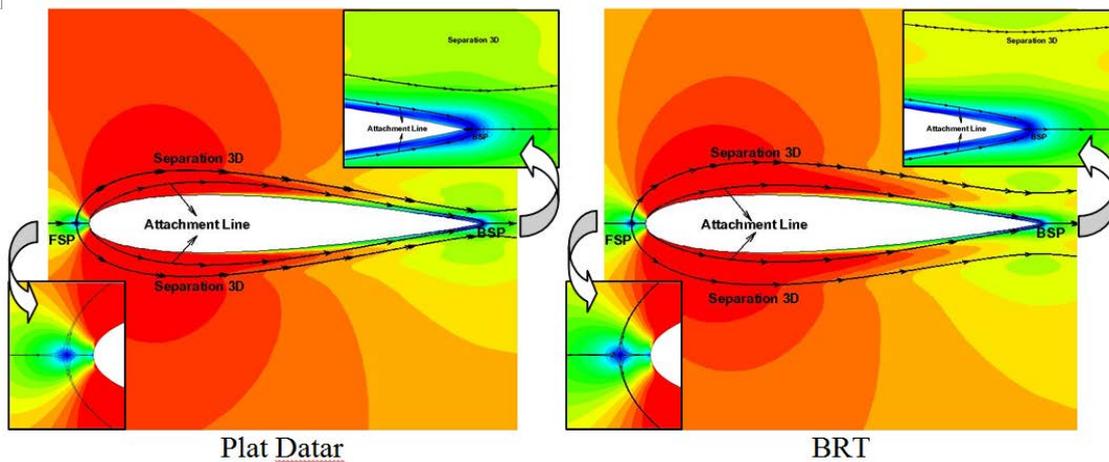
Gambar 2 Kontur kecepatan di depan *leading edge*

Pada FSP terjadi menyebabkan garis separasi 3D menyelimuti bodi seperti yang dipaparkan pada gambar 3. Garis separasi 3D bergerak mendekati *trailing edge* dan sebelum mencapainya garis tersebut menjauhi bodi bergerak ke arah *downstream*. Oleh karena itu pergerakan garis separasi 3D pada airfoil simetris NACA 0015 pada AoA 0° tidak mempengaruhi terjadi *corner wake*. Pada kondisi ini *attachment line* dari *leading edge* akan menelusuri bodi dan bertemu di *trailing edge* di BSP. Kemudian aliran terseparasi menjadi dua arah ke *up stream* dan *down stream*. Aliran dari BSP bergerak ke *up stream* bermuara ke *corner wake* sehingga menyebabkan penyumbatan aliran.



Gambar 3 Topologi aliran melintasi bodi tunggal dekat dengan dinding.

Efek penggunaan plat datar dan BRT dipaparkan pada gambar 4. Pada plat datar menghasilkan *separation3D line* yang lebih berimpit dengan bodi dibandingkan dengan penggunaan BRT. Sedangkan *attachment line* dari *leading edge* pada plat datar lebih membuka dibandingkan dengan penggunaan BRT. Hal ini dapat dinyatakan dari topologi aliran dampak penyebab terjadi *corner wake* disebabkan oleh *attachment line*. Sehingga BSP akan semakin mendekati *trailing edge* pada penggunaan BRT. Untuk kontur kecepatan di daerah *trailing* dipaparkan peningkatan momentum aliran yang sangat signifikan, ditandai daerah defisit momentum mengecil dan berpenjar.

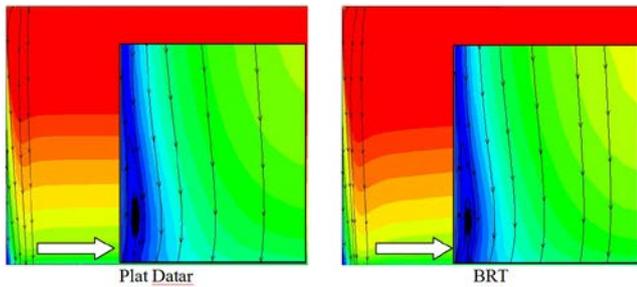


Gambar 4 Kontur kecepatan dan detail topologi aliran

Fenomena ini sangat berbeda pada airfoil asimetris dan simetris dengan pemberian AoA, dimana formasi *horseshoe vortex size* tidak ditentukan oleh *separation 3D line* melainkan *attachment line*, sebab BSP terbentuk oleh dua garis *attachment line* yang berasal dari *leading edge*. Sedangkan untuk energi momentum yang di indikasi dengan nilai kecepatan di sekitar bodi, terlihat bahwa penggunaan BRT memiliki area momentum yang lebih panjang ke arah *downstream*.

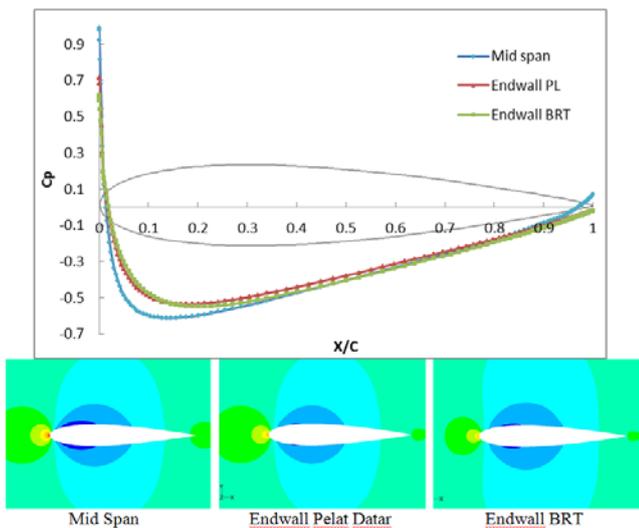
Pada gambar 5 dipaparkan terbentuk *corner wake* di

dekat *trailing edge*. Penggunaan BRT dapat memperkecil terjadi *corner wake* yang menyebabkan penyumbatan aliran khususnya di daerah *trailing edge*. Pada kontur kecepatan yang melintasi bodi daerah momentum yang tinggi lebih menguasai bodi sehingga separasi aliran lebih tertunda.



Gambar 5. Corner wake di dekat trailing edge.

Distribusi koefisien tekanan yang terjadi pada bodi dipaparkan pada gambar, dimana diposisi *leading edge* nilai dari *midspan* adalah 1. Hal tersebut menyatakan terjadi kondisi stagnansi terjadi tepat di depan *leading edge*. Sedangkan pada Plat Datar (PL) C_p lebih kecil sehingga mengindikasikan terjadi kecepatan yang lebih besar. Oleh karena itu penggunaan BRT dapat memperbesar kecepatan tepat di depan *leading edge*. Namun pada daerah *trailing edge* pada daerah *midspan* mengalami kenaikan C_p hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan tekanan statis dibandingkan dengan *endwall* baik pelat datar dan BRT.



Gambar 6. Distribusi tekanan pada bodi

Pada kontur C_p disekitar *endwall* pada pelat datar memiliki daerah nilai yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan BRT, sehingga indikasi terjadi akselerasi kecepatan yang terjadi lebih besar pada penggunaan BRT. Sedangkan pada daerah *trailing edge* tidak mengalami perbedaan yang signifikan.

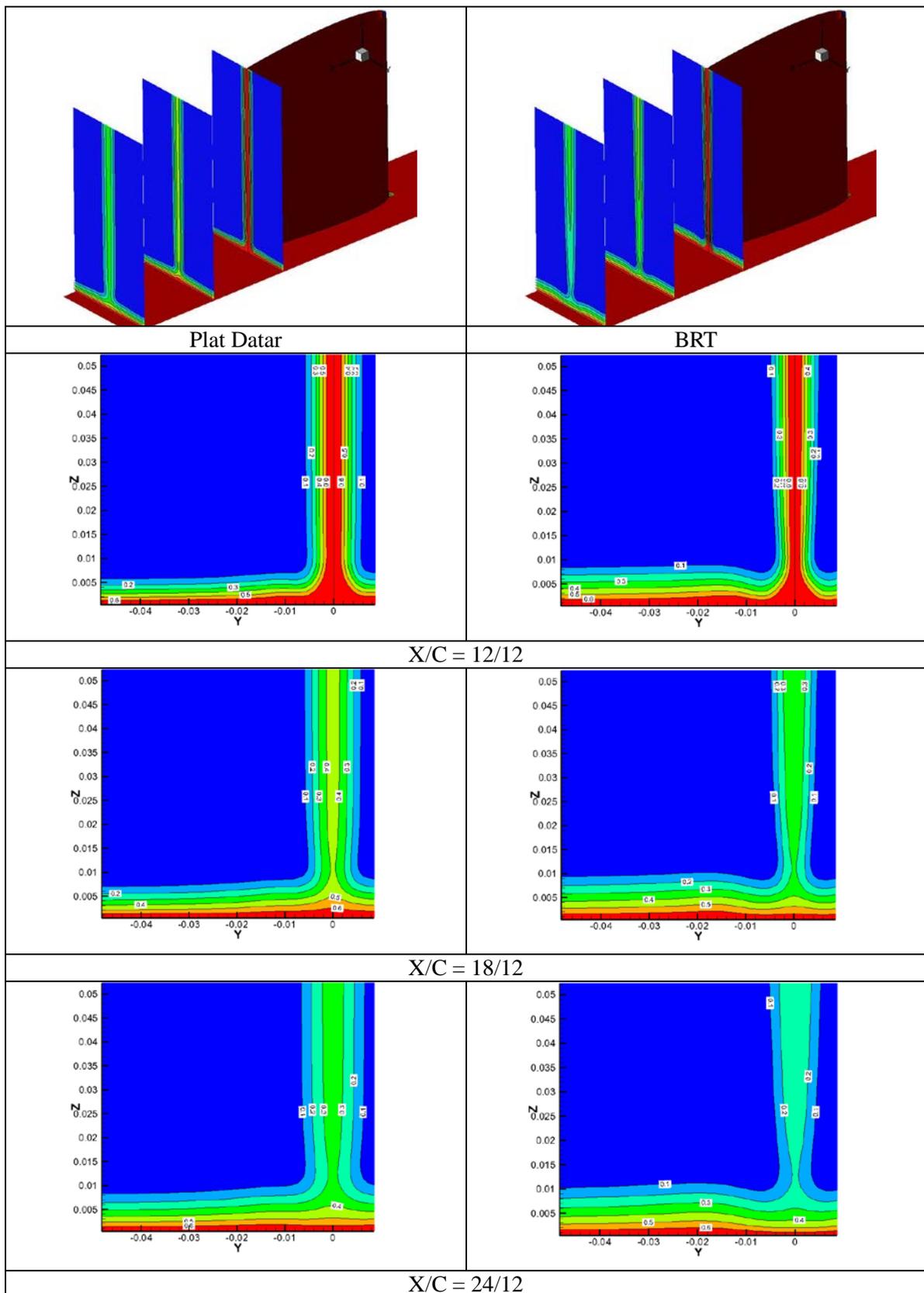
Corner wake yang terjadi pada daerah *downstream* akan menyebabkan penyumbatan yang diindikasikan dengan terjadi penurunan energi yang dipaparkan dengan *Axial isototal pressure losses coefficient* (ζ_{axial}). Pada gambar 7 dipaparkan distribusi ζ_{axial} di sepanjang *downstream* dengan posisi $X/C = 12/12$, $X/C = 18/12$ dan $X/C = 24/12$. Pada posisi $X/C = 12/12$ tepat berada di *trailing edge* ditunjukkan bahwa sebaran ζ_{axial} di daerah dekat bodi mengalami penurunan kerugian energi yang lebih kecil di indikasi daerah yang bernilai 0.6 dengan berwarna merah lebih kecil. Namun pada

daerah *endwall* terjadi penebalan lapisan aliran viscous. Efek penyumbatan aliran semakin ke *downstream* akan semakin mengecil, hal ini dipaparkan bahwa daerah penyumbatan hanya terjadi di *endwall*. Efek penggunaan BRT sangat berperan secara signifikan untuk mereduksi terjadi penyumbatan aliran di belakang *trailing edge*. Perbandingan antara pelat datar dan penggunaan BRT pada posisi ke arah *downstream* pada posisi $X/C = 18/12$ dan $X/C = 24/12$, akan semakin kecil daerah penyumbatan aliran. Peningkatan ketebalan *boundary layer* di daerah *downstream* tidak terlalu signifikan ketebalannya meningkat sebesar 2mm pada posisi $X/C = 24/12$. Namun dampak pengurangan penyumbatan di daerah *trailing edge* lebih besar. Sehingga diperlukan analisa secara kualitatif yang dipaparkan dengan presentasi penurunan penyumbatan aliran dengan nilai integrasi permukaan di saluran keluar aliran. Hasilnya menyatakan bahwa penggunaan BRT dapat mereduksi penyumbatan aliran sebesar 54%.

Kesimpulan

Karakteristik aliran yang melintasi bodi airfoil simetris NACA0015 tanpa AoA yang melintasi pelat datar dan BRT *endwall* memiliki yang berbeda. Dimana dengan penggunaan BRT dapat menyebabkan :

- Peningkatan momentum tersebut menyebabkan FSP sedikit bergeser mendekati *leading edge* dan berpusar lebih kuat.
- *Separation 3D line* menjauhi bodi dan *attachment line* lebih berimpit pada bodi.
- Khusus NACA 0015 tanpa AoA penyebab terjadi BRT di sebabkan bertemunya dua *attachment line* saja, tidak ada interaksi terhadap *separation line 3D*.
- BFP yang lebih mendekati *trailing edge* bergerak ke arah *up stream*, namun tidak terlalu selalu signifikan perbedaanya.
- *Corner wake size* di dekat *trailing edge* lebih kecil.
- C_p di *leading edge* lebih kecil sehingga mengindikasikan terjadi akselerasi kecepatan semakin besar.
- Mengurangi penyumbatan aliran didekat bodi, namun meningkatkan ketebalan *boundary layer* di *endwall*. Pada posisi $X/C = 24/12$ terjadi penebalan *boundary layer* sebesar 2 mm, sedangkan pada daerah belakang bodi terjadi penurunan daerah penyumbatan sebesar 2cm.
- Dapat mereduksi penyumbatan aliran sebesar 54% dibandingkan dengan pelat datar *endwall*.



Gambar 7 Distribusi Axial isototal pressure losses coefficient. (ζ_{axial})

Ucapan Terima kasih

Segala puji syukur saya ucapkan kepada Promotor saya Prof. Dr.Ing Herman Sasongko, Co. Promotor Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT yang telah membimbing saya

dalam penelitian ini. Selain itu saya ucapkan terima kasih pada saudara Fitra yang membantu dalam penyusunan penelitian ini.

Nomenklatur

g	gravitational constant (ms^{-2})
P	pressure (Nm^{-2})
C_p	Coefficient Pressure
R_e	Reynolds Number
C	Chord length
AoA	Angle of Attack
BRT	Bluff rectangular turbulator
FSP	Forward saddle point
BSP	Backward saddle point
PL	Plat Datar

Greek letters

ζ_{axial}	Iso Total Pressure Losses Coefficient
μ	viscosity (kG/m.s)

Referensi

- Tobak, M., Peake, D.J., "Topology of Two Separated and Three Dimensional Separated Flow", NACA Technical Report. (1981)
- Tobak, M., Peake, D.J., "Topology of Three Dimensional Separated Flow", NACA Technical Report. (1982).
- Surana, A., Grunberg, O., Haller, G., "Exact Theory of Three Dimensional Flow Separation", Part I: Steady Separated, Journal of Fluid Mechanics, vol 564, pp.57-103, (2006).
- Surana, A., Jacobs, G., Grunberg, O., Haller, G., "Exact Theory of Three Dimensional Flow Separation", Part II: Fixed Unsteady separation, under consideration for publication in Journal of Fluid Mechanics, (2006).
- Surana, A., Jacobs, O., Haller, G., "Extraction of Separation and Attachment Surfaces from Three-Dimensional Steady Shear Flows", AIAA Journal Vol.45, No6, (2007).
- Horlock, J.H., Lakshminarayana, B., "Leakage and Secondary Flows in Compressor Cascades", Ministry of Technology Aeronautical Research Council Report and Memoranda No.3483, (1987).
- Mirmanto, H., Sasongko, H., "Reduksi Kerugian Sekunder Melalui Penambahan Leading Edge Fairing". Jurnal Teknik Mesin ITS Surabaya, Mei, (2009).
- Yaghoubi, M., Mahmoodi, S., "Experiment study of turbulent separated and reattached flow over a finite blunt plate", Ekperimental Thermal and Fluid Science 29- 105-112. (2004).
- Djilali, N., Gratschore, I.S., *Turbulent flow around a bluff rectangular plate, Part1: Experimental*

investigation, ASME Trans. Fluid Eng. 11(1991)51-59, (1991).

Suksangpanomrung, A., Djilali, N., Moinat, P., "Large-eddy simulation of separated flow over a bluff rectangular plate", International journal of heat transfer fluid flow 21-655-663, (2002).

Sutrisno, Sasongko, H., Mirmanto, H., "Analisa Numerik Efek Ketebalan *Bluff Rectangular* Terhadap Karakteristik Aliran Di Dekat Dinding" Annual Engineering Seminar 2012, C-109-113, Fakultas Teknik UGM, (2012).