

Analisa Numerik Efek Ketebalan *Bluff Rectangular* Terhadap Karakteristik Aliran Di Dekat Dinding

Sutrisno, Herman Sasongko, Heru Mirmanto

Institut Teknologi Sepuluh Noverber, Teknik Mesin, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstract

Bluff rectangular is one of turbulator which has function as flow disturbance. The disturbance will be useful and it becomes the trigger to accelerate flow transition from laminar and turbulent flow. However the disturbance could destroy the flow. It depends on the thickness of bluff rectangular. This research focused on the effect caused by the thickness of bluff rectangular toward the surrounding flow. The thickness variant which will investigate is $0.025d/Lu$, $0.0375d/Lu$, $0.05d/Lu$, $0.075d/Lu$ and $0.1d/Lu$. This research utilize numerical analyze only when using Computation Fluid Dynamic method. In the simulation with free stream flow $Re = 10^3$ based on bluff rectangular body thickness (d) on steady state condition and turbulent viscous model used Shear Stress Transport k - Ω . Numerical result shown that bubble separation flow will not occur by using bluff rectangular with $0.025d/Lu$, where it is not as for other thickness. Especially for bluff rectangular by $0.0375d/Lu$ occur delayed bubble separation which lie $x=1.5d$ after bluff rectangular point, whereas for $0.05d/Lu$, $0.075d/Lu$ and $0.1d/Lu$ bubble separation lie right behind bluff rectangular. For bubble separation which occurred is inversely linear with the bluff rectangular thickness. velocity profile occurred on $x=4Lu$ shown should $0.075d/Lu$ and $0.1d/Lu$ bluff rectangular has higher velocity near the wall especially $y/\delta < 0.1$. The smallest shape factor produced by $0.075d/Lu$ bluff rectangular hence it is stated as the best turbulator.

Keywords : bluff rectangular, bubble separation, turbulator.

1. Pendahuluan

Pada aliran eksternal yang melintasi sebuah dinding dengan efek gesekan akan menghasilkan terjadinya perkembangan *boundary layer* aliran, sehingga aliran mengalami perubahan karakteristik aliran dari aliran laminar menjadi aliran turbulen. Untuk mempercepat terjadi perubahan karakteristik aliran tersebut maka diperlukan perangkat turbulator. Efek dari percepatan tersebut dihasilkan sebuah aliran yang memiliki kecepatan dan intensitas yang lebih tinggi khususnya di daerah dekat *endwall*. Peristiwa ini terjadi sebab aliran yang mengalami perubahan yang cukup lama akan kehilangan energi, hal itu ditandai oleh muncul separasi aliran. Separasi aliran terjadi disebabkan ketidak mampuan aliran menghadap gesekan didekat dinding. Ketika aliran itu sudah pulih dan kuat untuk melanjutkan perlawanan terhadap gesekan maka aliran tersebut tergolong aliran turbulen. Proses ketidak mampuan ini diharapkan diperkecil dengan penambahan perangkat turbulator. Teori ini tentang struktur aliran ini pertama kali diperkenalkan oleh Hunt[1].

Aliran yang datang melewati sebuah plat datar akan selalu diawali dengan terbentuknya aliran laminar. Sejalan dengan pertumbuhan *boundary layer* maka aliran tersebut menuju transisi aliran, hal ini dinyatakan dengan bilangan Reynolds untuk

aliran eksternal. Apabila nilai Reynolds tersebut melebihi $5 \cdot 10^5$ maka aliran dinyatakan sebagai aliran turbulensi.

Turbulator yang efektif merupakan perangkat yang dapat mempercepat terjadinya transisi aliran, namun untuk keperluan aplikasi diharapkan didapatkan aliran yang memiliki energi momentum dan intensitas yang tinggi. Beberapa peneliti seperti Yaghoubi[2] melakukan eksperimen terhadap karakteristik aliran di sekitar *bluff rectangular*. Hasilnya terjadi *bubble separation* tepat setelah melintasi *bluff rectangular*. Titik *reattachment* aliran atau berkembangnya kembali aliran pada kondisi semula sangat ditentukan oleh dimensi *bluff rectangular* itu sendiri. Hal ini didukung hasil simulasi yang telah dilakukan oleh Tran[3] dan Suksangpanomrung[4]. Sehingga diperlukan pengkajian secara khusus efek ketebalan *bluff rectangular* terhadap karakteristik aliran yang terjadi di sekitarnya. Efek yang ditimbulkan oleh separasi aliran menimbulkan skala yang besar terhadap *unsteadiness*, struktur turbulen yang kompleks, perbedaan *pressure gradient*. Dalam proses visualisasi *bluff rectangular* sangat tergantung dengan karakteristik *Reynolds number* aliran.

Djijali[5] membandingkan hasil numerik dan eksperimen, hasilnya dipaparkan hal yang serupa dimana *bluff rectangular* terjadi *bubble separation*, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2. Aliran



yang mendarat didekat *endwall* mengalami hambatan berupa *bluff rectangular* yang ujungnya sangat tajam dengan berbentuk siku 90 derajat yang disebut *bluff rectangular*, akibatnya aliran tersebut bergerak ke atas dan *streamline* terbuka. Ketika aliran tersebut bertemu dengan aliran yang berada di atasnya, maka aliran tersebut terdorong ke arah samping seperti semula dan *streamline* tertutup atau disebut *reattachment*, namun hal tersebut tidak terjadi.

Streamline yang terbuka terlalu tinggi menyebabkan *streamline free stream* aliran di atasnya ikut terangkat dan *streamtube* menyempit, hal ini memicu terjadi akselerasi aliran. Setelah itu *streamline* yang terbuka tersebut akan kembali ke posisi semula, namun hal tersebut tidak mampu menahan efek dari *adverse pressure gradient*. Ketidak mampuan ini menyebabkan aliran tersebut terperangkap sehingga aliran berputar ditempat sesaat yang dinyatakan sebagai *vortex* yang lebih dikenal dengan *bubble separation*. Fenomena yang lain terbentuknya *vortex* ini dihasilkan efek berpusarnya aliran yang berada tetap di atas *endwall* setelah melewati ujung *bluff rectangular*, akibatnya aliran didekat dinding mendapatkan percepatan yang cukup signifikan. Hal ini menyebabkan terjadi peningkatan intensitas turbulensi dan kecepatan di dekat *endwall*.

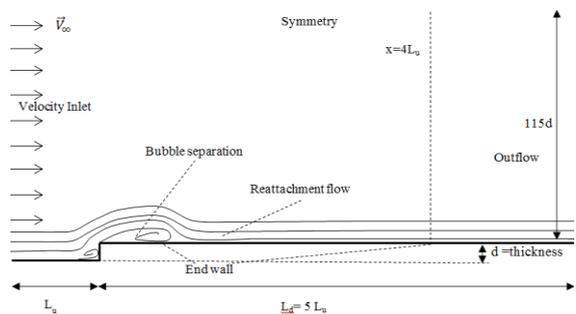
Wawan dan Sutardi[6,7], melakukan hal yang serupa namun jenis turbulator adalah *obstacle circular* dan *rectangular*, hasilnya menyatakan perbedaan dimensional dihasilkan struktur aliran yang berbeda pula. Sehingga dinyatakan bahwa, struktur aliran sangat tergantung dari bentuk dan dimensi dari turbulator. Namun belum ada penelitian tentang pengaruh ketebalan *bluff rectangular* saja tanpa membandingkan panjang *bluff rectangular* terhadap karakteristik aliran di sekelilingnya. Namun belum ada penelitian yang menitik beratkan efek ketebalan *bluff rectangular* terhadap karakteristik aliran yang melewati, kemudian dibandingkan dengan aliran tanpa gangguan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan aliran karakter yang lebih kuat terhadap terjadinya separasi.

Peneliti Suksangpanomrung[4] melakukan penelitian pengamatan *bubble separation* dengan membandingkan beberapa model numerik dengan model viscous *Large Eddy Simulation* LES dengan hasil eksperimental yang dilakukan oleh Djijali dan Gartshore. Namun awal penelitian sebelum dilakukan eksperimental Djijali[5] telah melakukan *analysis numeric* dengan menggunakan model turbulensi *viscous Reynolds Averaged Navier Stoke* (RANS) sebagai referensi karakter aliran yang berada disekitar *bluff rectangular*. Hasilnya secara visualisasi karakteristik aliran numerik dapat memaparkan hasil yang sama seperti yang terjadi pada eksperimental, namun secara kualitatif semua model numerik tidak dapat menghasilkan nilai yang

sama dengan eksperimental, selalu terhadap hasil penyimpanan walaupun telah menggunakan model numerik unsteady. Setiap model numerik memiliki karakteristik yang berbeda pula, sehingga untuk pengamatan bluff rectangular untuk permulaan hanya dikaji dengan metode numerik dengan menggunakan model *viscous RANS*.

2. Metode

Pengamatan yang akan dilakukan dengan menggunakan beberapa ketebalan *bluff rectangular* yang dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi yaitu d/L_u . Efek dari pengaruh wind tunnel dinyatakan dengan parameter *Blockage rasio* $Br = \frac{d}{L}$, $L = 115d$, dinyatakan sebagai $Br=0.86\%$, kemudian aliran yang melintasi menggunakan $Re_d = 10^3$. Susunan pengamatan seperti pada gambar 1. Dimana dipaparkan estimasi aliran yang akan terjadi didalam analisa numerik.



Gambar 1. Topologi aliran di sekitar *bluff rectangular*.

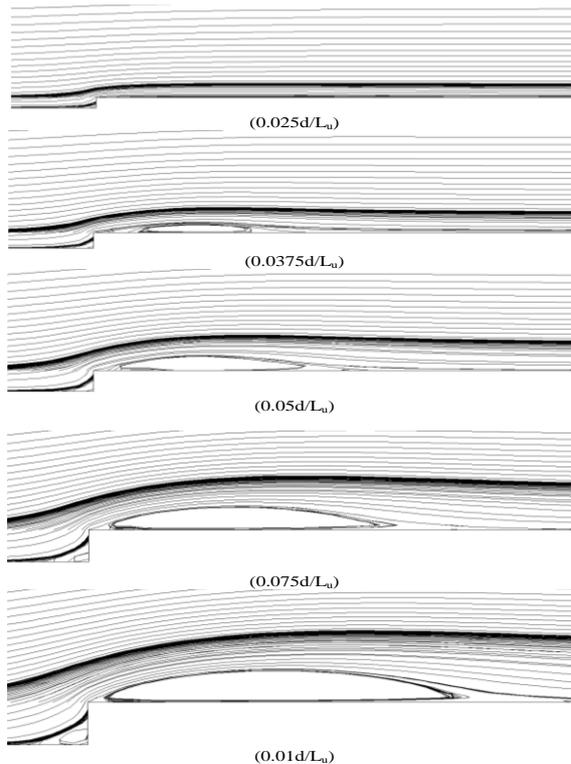
Model simulasi ini dinyatakan bahwa nilai kualitas *mesh* terburuk adalah 1.37×10^{-10} , sedangkan untuk jarak *mesh* pertama dari *endwall* adalah $0.15d$. Sehingga untuk model dan *mesh* yang telah dibuat sudah direkomendasikan untuk proses selanjutnya. Untuk permasalahan seperti ini digunakan metode perhitungan *pressure based segregated solver*. Untuk persamaan model viscous digunakan metode $k - \omega, SST$, sebab model ini mengikutkan persamaan *shear stress transport* (SST), Sebab sangat disarankan untuk menganalisa di dekat dinding.

Metode penyelesaian perhitungan menggunakan model gradient digunakan *green gaus cell based*, sebab seluruh *mesh* terbentuk hanya berbentuk *map* saja. Hubungan perhitungan antara tekanan dan kecepatan digunakan pendekatan SIMPLE, sedangkan *discretization interface* tekanannya digunakan PRESTO!. Sedangkan *discretization momentum* dan model turbulensi viscous digunakan *third-order muscl*, karena metode ini sangat cocok untuk daerah separation. Sedangkan untuk kriteria konvergen dari penyelesaian ini dinyatakan dengan 10^{-6} .

Makalah ini akan mengevaluasi hasil numerik dengan cara menampilkan kontur *streamline*, kecepatan dan intensitas turbulensi yang terjadi disekitar *bluff rectangular*. Kemudian untuk kajian secara kualitatif hasil simulasi numerik dikaji pada posisi $x=40L_u$ berupa profil kecepatan dan intensitas turbulensi dengan pamater non dimensional.

3. Hasil dan Pembahasan

Streamline merupakan dokumentasi terhadap jejak aliran yang terjadi di sekeliling *Bluff Rectangular*, yang dipaparkan pada gambar 2. Untuk setiap ketebalan *bluff rectangular* dihasilkan struktur *streamline* aliran yang berbeda. Untuk ketebalan *bluff rectangular* $0.025d/L_u$, *streamline* yang melewati turbulator tidak mengalami terjadi *bubble separation flow*. Hal ini disebabkan bahwa *streamline* aliran tidak terlalu terangkat sehingga hanya berubah arah secara perlahan. Struktur pada kondisi tersebut sangat mirip dengan struktur aliran yang terjadi pada plat datar. Namun untuk ketebalan yang lebih tebal yaitu $0.0375d/L_u$, $0.05d/L_u$, $0.075d/L_u$ dan $0.1d/L_u$ terjadi fenomena *bubble separation flow*. Untuk ketebalan *bluff rectangular* $0.0375d/L_u$ *bubble separation flow* terjadi keterlambatan separasi pada $x=1.5d$.

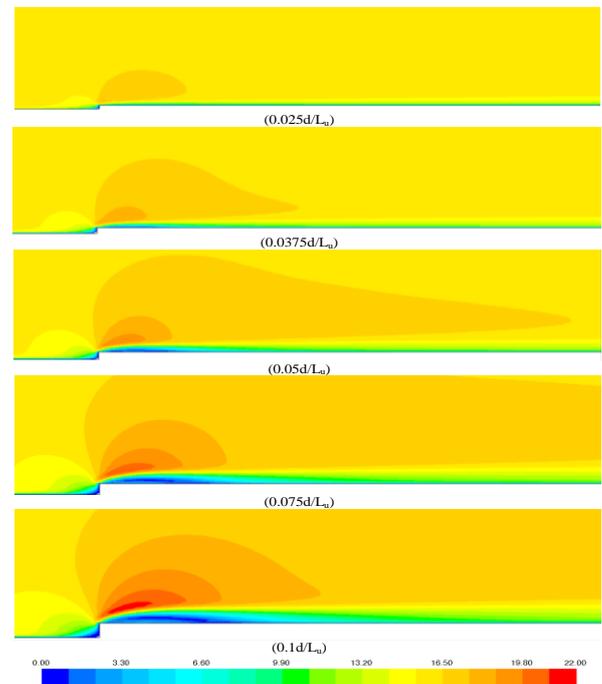


Gambar 2. Aliran *Streamline*

Keterlambatan separasi aliran menyebabkan intensitas vortex yang terjadi di *bubble separation* tidak terlalu kuat, sehingga ketebalan *bubble separation* hanya $\frac{1}{2} d$. Struktur aliran yang terjadi

pada *Bluff Rectangular* dengan ketebalan $0.05d/L_u$, $0.075d/L_u$ dan $0.1d/L_u$, *bubble separation flow* terjadi tepat setelah melewati *Bluff Rectangular*. Namun ketebalan *bubble separation flow* yang terjadi sama dengan ukuran ketebalan *bluff rectangular* itu sendiri.

Untuk *bluff rectangular* dengan ketebalan $0.025d/L_u$ dihasilkan daerah percepatan yang diatasnya paling kecil dibandingkan ketebalan yang lain. Selain itu pengaruh akselerasi kecepatan tidak sampai pada daerah detail pengamatan Sehingga dinyatakan *bluff rectangular* yang efektif menghasilkan daerah akselerasi yang sempurna di daerah pengamatan adalah *Bluff Rectangular* dengan ketebalan $0.075d/L_u$ dan $0.1d/L_u$, yang memiliki daerah penuh di dekat dengan *endwall*. sedangkan untuk ketebalan $0.0375d/L_u$ dan $0.05d/L_u$ terlihat daerah akselerasi kecepatan hanya sebagian didekat *endwall*, semuanya dipaparkan pada gambar 3.

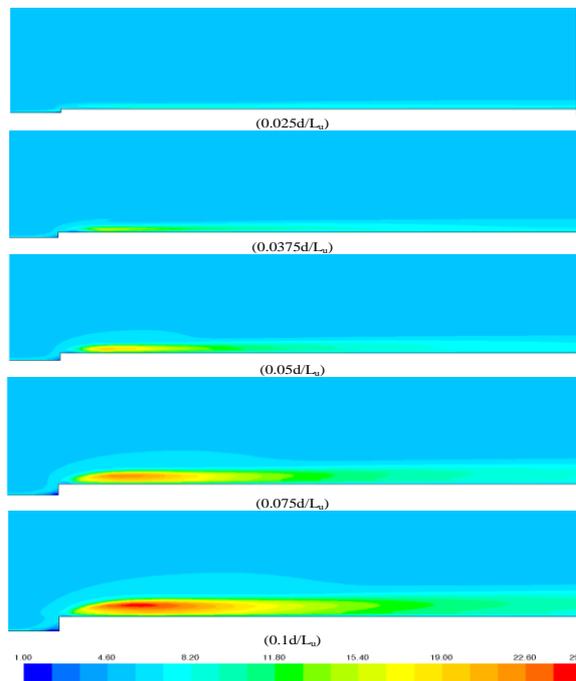


Gambar 3. Kontur Kecepatan (m/s).

Distribusi intensitas turbulensi yang terjadi di sekeliling *bluff rectangular* dipaparkan pada gambar 4. Hasil simulasi numerik ditunjukkan bahwa sebuah ketebalan menunjukkan peningkatan intensitas turbulensi didekat *endwall*. Semakin tebal *bluff rectangular* yang digunakan akan dihasilkan daerah peningkatan turbulensi yang tinggi khususnya di dekat dinding. Sehingga dapat dinyatakan semakin besar gangguan yang diberikan maka akan dihasilkan daerah peningkatan turbulensi intensitas yang luas. Selain itu didalam hasil simulasi untuk daerah terjadinya *bubble separation* didapatkan intensitas turbulensi yang tinggi,

kemudian ketika aliran mengalami *reattachment flow* terjadi penurunan intensitas turbulensi.

Sedangkan untuk daerah yang berada sebelum *bluff rectangular* khusus dekat dengan dinding dihasilkan kecepatan dan turbulen intensitas yang rendah, sebab aliran terjebak sehingga vortex yang terjadi sulit terlepas. Pengamatan penggunaan *bluff rectangular* tidak hanya berada di sekitarnya saja. Namun pengamatan secara detail dilakukan pada jarak yang cukup jauh setelah *reattachment flow*.

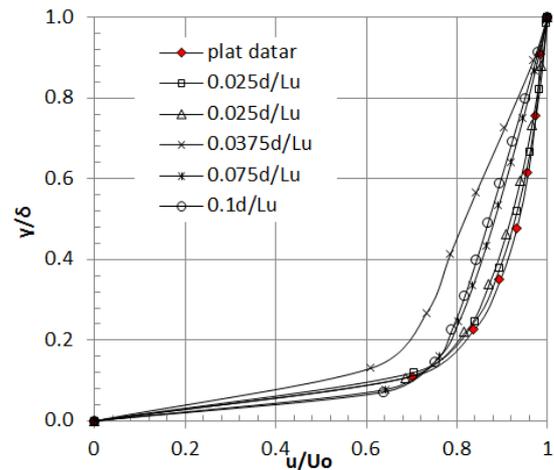


Gambar 4. Kontur intensitas turbulensi (Tu)(%).

Agar mempermudah perbandingan pengamatan dilakukan analisa dengan menggunakan bilangan tidak berdimensi, antara lain perbandingan kecepatan lokal dengan kecepatan free stream (u/U_0) digantikan untuk mengamati kecepatan aliran, sedangkan untuk posisi sumbu y dinyatakan dengan perbandingan sumbu y dengan *disturbance thickness* (δ) sehingga dinyatakan dengan (y/δ). dipaparkan pada gambar 5.

Untuk profil kecepatan plat datar dan *bluff rectangular* ketebalan $0.025d/L_u$ dan $0.0375d/L_u$ dihasilkan profil kecepatan yang berimpit sehingga dinyatakan indentik sehingga pengaruh kecil terhadap perubahan stuktur aliran. Pada *bluff rectangular* ketebalan tersebut dan plat datar memiliki total momentum yang paling besar dibandingkan dengan *bluff rectangular* dengan ketebalan yang lainnya. Sedangkan untuk profil kecepatan pada *bluff rectangular* dengan ketebalan $0.05d/L_u$ didapatkan profil kecepatan yang paling kecil dibandingkan dengan ketebalan yang lain, sehingga dinyatakan bahwa total momentum juga lebih kecil. Untuk *Bluff Rectangular* dengan ketebalan $0.075d/L_u$ dan $0.1d/L_u$ memiliki total

profil kecepatan yang berada ditengah dibanding yang lainnya, namun untuk kecepatan yang berada dibawah ketinggian $y/\delta < 0.1$ profil kecepatan dihasilkan paling terbesar profil kecepatannya.

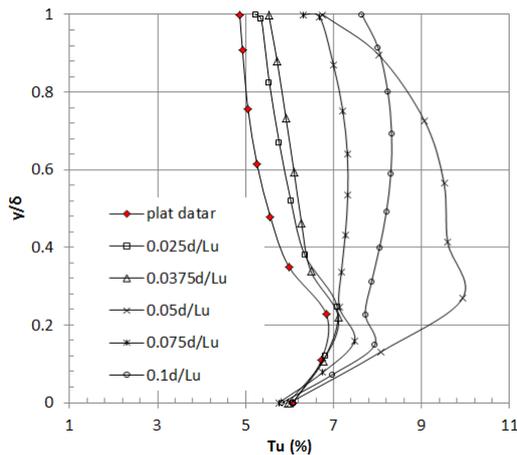


Gambar 5 Profil kecepatan pada $x=4L_u$.

Apabila digunakan untuk tujuan mengurangi terjadi fenomena terjadi separasi aliran 3D akibat efek terjadi *endwall*, maka aliran yang memiliki profil kecepatan yang terbesar didekat dinding yang terbaik sebagai pilihan karakteristik aliran. Namun kajian kecepatan masih belum cukup sebagai parameter pemilihan karakteristik aliran yang terbaik untuk menghadapi separasi aliran 3D, sehingga diperlukan kajian tentang parameter yang lainnya.

Intensitas turbulensi yang merupakan parameter yang mengidentifikasi terjadinya fluktuasi kecepatan di dalam aliran. Untuk aliran yang lebih tahan menghadapi terjadi separasi aliran 3D akibat efek dinding adalah aliran yang memiliki intensitas turbulensi dan profil kecepatan yang besar khusus di dekat dinding. Profil tentang intensitas turbulensi yang berada di daerah pengamatan dipaparkan pada gambar 6.

Semua aliran yang menggunakan turbulator *bluff rectangular* dihasilkan profil intensitas turbulensi yang tinggi diseluruh ketinggian, hanya saja *bluff rectangular* dengan ketebalan $0.025d/L_u$ dihasilkan profil intensitas turbulensi yang paling rendah di dekat dinding sampai dengan ketinggian $y/\delta = 0.3$ dibandingkan dengan plat datar. Profil intensitas turbulensi yang terjadi pada ketebalan tersebut memiliki bentuk yang sangat berbeda dengan yang lainnya, walaupun memiliki profil *streamline* yang identik dengan plat datar. Untuk *bluff rectangular* dengan ketebalan $0.05 d/L_u$ dihasilkan aliran dengan profil intensitas turbulensi yang paling besar dibandingkan dengan konfigurasi yang lainnya, kemudian ketebalan $0.1d/L_u$, $0.05d/L_u$ dan $0.0375d/L_u$.



Gambar 6. Profil intensitas turbulen pada $x=4L_u$.

Pada tabel 1 dipaparkan parameter yang mengidentifikasi karakteristik aliran yang dinyatakan dalam *disturbance thickness* yang dikenal dengan nama ketebalan *boundary layer*. Sedangkan untuk parameter *displacement thickness* merupakan parameter yang menyatakan ketebalan daerah yang berbentuk simetri yang berdasarkan dari bentuk luasan daerah efek dari aliran viscous. Sedangkan untuk *momentum thickness* adalah daerah besaran energi momentum di daerah aliran viscous. Perbandingan parameter antara *displacement thickness* dan *momentum thickness* merupakan parameter yang dinyatakan dengan *shape factor*.

Parameter tersebut apabila aliran memiliki nilai diantara 3 merupakan aliran laminar, namun ketika nilainya diantara 1,3 dinyatakan dengan aliran turbulen. Sehingga didapatkan apabila nilai semakin kecil aliran yang dihasilkan adalah aliran yang lebih turbulensi, yaitu aliran yang memiliki momentum energi tinggi dan turbulensi intensitas yang tinggi. Hasil simulasi untuk daerah pengamatan didapatkan bahwa *bluff rectangular* dengan ketebalan 0.075d/Lu didapatkan aliran yang memiliki nilai *shape factor* yang terkecil, yaitu 0.88. Sehingga dinyatakan bahwa kinerja turbulator yang terbaik diantara yang lain.

Tabel 1 Karakteristik Aliran pada $x=4L_u$.

Model		plat datar	0.025d/Lu	0.025d/Lu	0.0375d/Lu	0.075d/Lu	0.1d/Lu
Disturbance Thickness	δ (mm)	19.498	17.932	20.128	16.493	27.667	30.033
Displacement Thickness	δ^* (mm)	1.646	1.567	1.912	2.684	1.557	2.015
Momentum Thickness	θ (mm)	1.354	1.280	1.553	1.999	1.755	2.156
Shape Factor	H	1.216	1.225	1.231	1.343	0.887	0.935

4. Kesimpulan

Hasil kajian numerik tentang efek yang ditimbulkan oleh *bluff rectangular* dinyatakan bahwa ketebalan 0.075d/Lu merupakan turbulator yang terbaik unjuk kerjanya. Kemudian untuk

kajian umum dinyatakan dalam beberapa point, yaitu:

1. Turbulator yang menghasilkan profil kecepatan yang tinggi akan selalu dihasilkan profil intensitas turbulensi yang kecil, hal ini selalu berbanding terbalik.
2. Gangguan yang tidak menimbulkan *bubble separation* dihasilkan intensitas turbulensi yang rendah.
3. Parameter aliran yang memiliki kemampuan menghadapi separasi aliran adalah aliran yang memiliki nilai *shape factor* yang terkecil. Sehingga potensi aliran terbaik adalah aliran pada *bluff rectangular* dengan ketebalan 0.075d/Lu .

Daftar Pustaka

- [1] Hunt. J.C.R, A Theory of Turbulent Flow Round Two-Dimensional Bluff Bodies, Journal of Fluid Mechanics, 61(1973) 625-706.
- [2] Yaghoubi. M, Mahmoodi. S, Experiment study of turbulen separated and reattached flow over a finite blunt plate, Eksperimental Thermal and Fluid Science 29(2004) 105-112.
- [3] Tran, T.T., Perrinm R, Manceau, R., Boree, J.2010 Simulation and analysis of the flow over a thick plate at high Reynolds number, In ETMM*, Marseille, France.
- [4] Suksangpanomrung. A, Djilali.N, Moinat, P, Large-eddy simulation of separated flow over a bluff rectangular plate, Internasional journal of heat transfer fluid flow 21(200) 655-663.
- [5] Djilali.N, Gratsshore.I.S, Turbulent flow around a bluff rectangular plate, Part1: Experimental investigation, ASME Trans. Fluid Eng. 11(1991)51-59.
- [6] [Wawan, Sutardi (2006), Studi eksperimental dan numerik karakteristik boundary layer pada permukaan pelat datar dengan gangguan sebuah obstacle berbentuk circular, Seminar nasional teknik mesin III-Uk.Petra-2003.
- [7] Wawan, Sutardi (2008), Studi eksperimental dan numerik karakteristik boundary layer pada permukaan pelat datar dengan gangguan sebuah obstacle berbentuk rectangular, Seminar nasional teknik mesin III-Uk.Petra-2008.

