

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M6-015 STUDI TENTANG KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER ELLIPS (AR=1/4) TUNGGAL TERIRIS PADA SISI DEPAN

Wawan Aries Widodo¹⁾, Triyogi Yuwono²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

P. Indiyono³⁾, Wasis Dwi Aryawan⁴⁾

³⁾Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS

⁴⁾Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya, 60111

email : wawanaries@me.its.ac.id

ABSTRACT

Fluid flow transition from laminar to turbulent among boundary layer and surface contour of bluff body until fluid separation depend on free-stream velocity and flow profile, turbulence free-stream, geometry, and surface roughness of the bodies surface. Focus of this investigation to observe interaction fluid flow interaction around modified geometry of elliptic cylinder. The fluid flow characteristics past elliptic cylinder with axis ratio between minor and major axis is 1/4 (AR=1/4) and modification of geometry of elliptic cylinder to cut front side with 5%, 10%, and 15% from length of major axis, and keep the length of minor axis constant. Fluid flow characteristics around modified single elliptic cylinder is investigated experimentally on open-circuit subsonic wind tunnel and validated to run numerical modeling with CFD solver FLUENT 6.2, and simulation is running with 2D-steady flow and employing two-equations turbulence model Menter SST $k-\epsilon$. Both of investigation methods to obtain quantitative value and qualitative information related with flow attach on contour modified elliptic cylinders which is indicated appearing bubble separation and boundary layer separation. All investigations are running with Reynolds Number 1.6×10^4 based on minor axis of modified single elliptic cylinder.

Keywords : modified geometry, elliptic cylinder (AR=1/4), boundary layer separation

1. Pendahuluan

Sebuah benda yang dilewati aliran diklasifikasikan sebagai *bluff body* atau *streamlined body* didasarkan atas karakteristik aerodinamika di sekeliling benda tersebut. Pada aliran di sekeliling *bluff body*, separasi *massive* terjadi tanpa *reattachment*. Aliran di sekeliling *streamlined body* mengalami *reattachment* dimana saja, kecuali pada *upstream* dari *trailing edge*. Pada benda yang sama dapat bekerja sebagai *streamlined body* maupun *bluff body* tergantung pada orientasi aliran yang melalui benda tersebut.

Silinder sirkular adalah salah satu contoh klasik dari *bluff body*, sedangkan silinder ellips adalah salah satu bentuk dari *streamlined body* dua dimensi, meskipun geometri keduanya relatif sederhana, namun demikian aliran yang melintasinya akan menjadi kompleks, baik pada saat aliran fluida yang bertransisi dari laminar menjadi turbulen pada kontur permukaan padatnya, maupun setelah fluida mengalami proses separasi aliran yang diikuti dengan separasi masif, dan diikuti

dengan lepasnya *free shear layer* di belakang benda tersebut, yang kemudian terbentuklah wake atau vortex street.

Penelitian yang dilakukan oleh Niemann, H.J. dan Holscher, N [1990] dan Zdravkovich [1990], menyatakan bahwa interaksi aliran fluida dengan bentuk geometri *bluff body* maupun *streamlined body* yang bertransisi dari aliran laminar menjadi turbulen hingga terjadi fenomena separasi aliran, sangat dipengaruhi antara lain oleh kecepatan pada free-stream serta profil alirannya, free-stream turbulence (intensitas turbulensi), bentuk benda (geometri maupun orientasi terhadap arah alirannya), serta kekasaran pada permukaan benda.

Fenomena transisi aliran tersebut dikarakteristikkan salah satunya dengan gaya hambat (drag force). Gaya hambat pada *bluff body* didominasi oleh *pressure drag*, sedangkan pada *streamlined body*, umumnya didominasi oleh *skin friction drag*. Meskipun demikian *pressure drag* memberikan kontribusi juga terhadap adanya gaya hambat yang diakibatkan oleh separasi dekat *trailing edge* dan *wake* di belakang benda. Perbedaan *pressure drag* diantara kedua benda tersebut menyebabkan perbedaan drag yang besar.

Karakteristik aliran yang melintasi *bluff body* maupun *streamlined body* akan menjadi kompleks dan menarik apabila dilakukan modifikasi geometri yang bertujuan untuk mereduksi gaya-gaya aerodinamik (gaya drag maupun gaya lift). Metode yang digunakan untuk mereduksi gaya-gaya tersebut adalah dengan mengendalikan aliran fluida baik secara aktif maupun pasif, atau yang dikenal dengan *active flow control* maupun *passive flow control* yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Metoda pengendalian aktif (active flow control) yaitu memberikan supply energi eksternal pada aliran fluida seperti eksitasi akustik, momentum injection (blowing), dan boundary layer heating, dan lain-lain.
- Metoda pengendalian pasif (passive flow control) yaitu dengan melakukan modifikasi geometri *bluff body*, memberikan kekasaran pada permukaan *bluff body*, serta menempatkan *bluff body* kecil sebagai pengganggu aliran.

Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan metode tersebut di atas salah satunya adalah dengan memodifikasi geometri silinder sirkular seperti dilakukan oleh Aiba dan Watanabe [1997] dan Igarashi dan Shiba [2006]. Pemotongan tersebut bertujuan untuk mendapatkan interaksi aliran dari sisi tegak silinder tersebut yang bertemu dengan aliran bebas (free-stream), interaksi aliran tersebut akan meningkatkan intensitas turbulensi aliran, dan selanjutnya momentum fluida tersebut akan *reattach* pada permukaan lengkung silinder. Kondisi yang demikian itu akan mendorong transisi aliran dari laminar menjadi turbulen lebih cepat dengan ditandai adanya separasi *bubble* pada permukaan tersebut. Momentum fluida pada aliran turbulen memiliki ketahanan untuk tidak terseparasi *massive* lebih awal akibat *shear stress* maupun *adverse pressure gradient*, atau dengan kata lain separasi *massive* dapat tertunda lebih ke belakang ketika momentum fluida melintasi kontur permukaan silinder sirkular utama. Tertundanya separasi *massive* tersebut menyebabkan daerah *wake* di *downstream* silinder sirkular utama lebih sempit dan hal tersebut mengindikasikan bahwa gaya hambat (drag force) yang semakin kecil.

Bentuk *bluff body* sederhana seperti silinder sirkular maupun modifikasi geomteri dari bentuk dasar silinder sirkular mewakili bentuk geometri yang memiliki adverse pressure gradient yang kuat (strong APG) ketika dilalui oleh fluida. Silinder ellips adalah bentuk *bluff body* sederhana lainnya yang memiliki karakteristik adverse pressure gradient yang lemah (mild APG), namun hal

ini tergantung orientasi aliran fluida yang melintasi silinder ellips tersebut, apabila orientasi aliran membentuk angle of attack tertentu atau tegak lurus terhadap sumbu mayornya, maka silinder ellips akan memiliki karakteristik adverse pressure gradient yang kuat (strong APG).

Berikut ini diuraikan beberapa penelitian secara eksperimental dan simulasi numerik tentang silinder ellips. Penelitian secara eksperimental yang dilakukan Schubauer [1935] pada silinder ellips dengan axis ratio (AR=1/3), menunjukkan bahwa transisi aliran laminar menjadi turbulen hingga terseparasi masif yang secara kuantitatif ditunjukkan oleh distribusi koefisien tekanan (C_p , sangat dipengaruhi oleh kecepatan free-stream (bilangan Reynolds), dimana semakin besar harga kecepatan aliran maka separasi masif akan semakin tertunda ke belakang. Penelitian oleh Faruqee, et.al [2007], dengan melakukan simulasi numerik dengan perangkat lunak CFD solver Fluent pada bilangan Reynolds rendah ($Re = 40$) dengan variasi axis ratio ($AR = 0,3$ hingga 1). Pemodelan numerik tersebut dilakukan karena kajian eksperimental tidak dapat melakukan pengukuran pada bilangan Reynolds yang sangat rendah. Penelitian tersebut mengambil berbagai hasil kuantitatif seperti distribusi koefisien tekanan (C_p), profil kecepatan pada maximum thickness-nya, serta mengintegrasikan harga C_p untuk mendapatkan koefisien pressure drag (C_d) serta skin friction drag, dengan mengintegrasikan distribusi wall shear stress.

Penelitian oleh Bao dan Dallman [2004], mengkaji lebih detail berbagai aspek fisis terbentuknya separasi bubble yang melalui geometri berbentuk rounded backward-facing step, baik dari kajian eksperimental maupun pemodelan numerik. Penelitian tersebut dapat lebih menjelaskan evolusi fluida yang attach pada kontur permukaan yang bertransisi dari aliran laminar hingga menjadi turbulen, yang diantaranya dipengaruhi adanya separasi bubble.

Beberapa hal yang penting di dalam melakukan simulasi numerik, terutama yang dikaitkan dengan ketidakpastian dalam simulasi numerik disampaikan oleh Freitas [1999], dimana untuk aliran turbulen secara umum sangat dipengaruhi oleh turbulence modelling yang digunakan, seperti RANS, U-RANS, LES, DES, kondisi batas dan kondisi awal (boundary and initial condition), serta bentuk dan kerapatan dari grid atau meshing terutama dekat solid surface, harus menjadi perhatian utama untuk menghasilkan kesesuaian fisis dengan berbagai fenomena yang ditunjukkan pada penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan secara eksperimental.

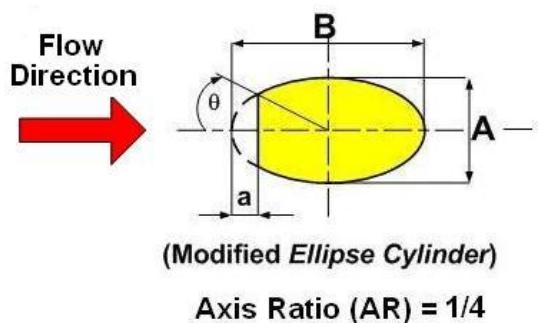
Penelitian yang dilakukan oleh Catalano et.al (2003), menyajikan komparasi antara studi numerik dengan eksperimental untuk aliran melintasi silinder sirkular pada bilangan Reynolds tinggi ($Re = 1 \times 10^6$). Berbagai turbulence modelling seperti Large Eddy Simulation (LES), Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS), maupun Unsteady-RANS (URANS) dibandingkan dengan berbagai eksperimental terdahulu pada kisaran bilangan Reynolds yang sama. Selanjutnya Catalano dan Amato [2003], melakukan evaluasi turbulence modelling RANS untuk aplikasi aerodinamika pada airfoil RAE 2822, RAE M2155 wing, dan sayap pesawat terbang A310, dengan membandingkan enam persamaan transport RANS yaitu Spalart-Allmaras, $k-k-\epsilon$ (Myong-Kasagi $k-k-\epsilon$ dan non-linear $k-k-\epsilon$), dan $k-k-\omega$ (Wilcox $k-k-\omega$, Kok TNT $k-k-\omega$, dan Menter SST $k-k-\omega$). Keseluruhan pemodelan turbulence RANS tersebut dibandingkan dengan hasil kajian eksperimental. Menurut Catalano dan Amato [2003], pemodelan turbulen RANS Menter Shear Stress Transport (SST) $k-k-\omega$, untuk kasus aliran transonic dan high-lift, menunjukkan kesesuaian terbaik antara kapabilitas fisis dengan karakteristik perhitungan numerik (akurasi, level konvergensi namun tidak sama dalam jumlah iterasi, serta waktu CPU untuk memprosesnya).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penelitian tentang fenomena interaksi aliran akibat perubahan atau modifikasi bentuk geometri benda yang tidak kompleks, seperti silinder ellips dengan berbagai axis ratio (AR), dikaji lebih mendalam dan detail untuk mendapatkan kesesuaian fisis pada penelitian ini, dengan melakukan kajian eksperimental pada open-circuit subsonic wind tunnel maupun simulasi numerik menggunakan perangkat lunak CFD solver Fluent 6.2 dengan menggunakan pemodelan turbulence 2D-steady flow Menter SST k- $k-\omega$.

Fenomena interaksi aliran akibat perubahan atau modifikasi bentuk geometri benda yang tidak kompleks, seperti silinder ellips dengan berbagai axis ratio (AR), dikaji lebih mendalam dan detail pada penelitian ini dengan melakukan kajian eksperimental pada open-circuit subsonic wind tunnel maupun pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak CFD solver Fluent 6.2

2. Metodologi

Penelitian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan karakteristik aliran saat melintasi silinder ellips tunggal yang dimodifikasi geometrinya dengan axis ratio (AR) = 1/4. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan memotong sisi depan silinder ellips tersebut prosentase tertentu terhadap panjang sumbu mayornya (B), yaitu $a=5\%B$, $a=10\%B$, dan $a=15\%B$, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.

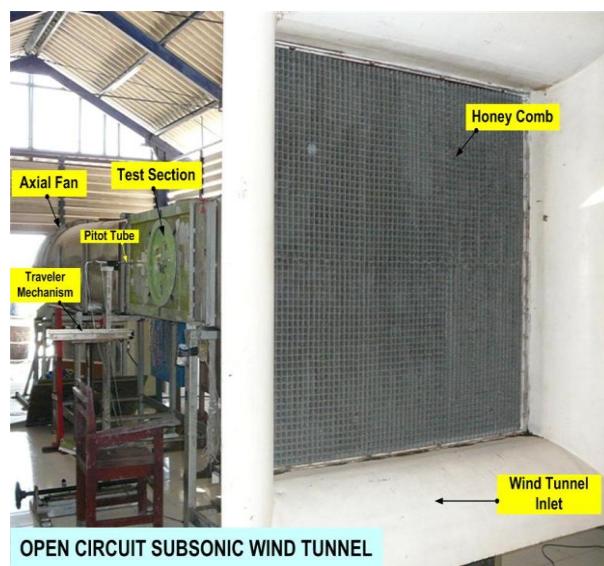


Gambar 1. Skematik silinder ellips (AR=1/4) yang dimodifikasi geometrinya.

Interaksi antara aliran fluida dengan silinder ellips tersebut dikaji secara seksama dengan melakukan kajian eksperimental pada open-circuit subsonic wind tunnel dan pemodelan numerik dengan perangkat lunak CFD solver FLUENT 6.2. Keduanya dilakukan untuk mendapatkan infomasi tentang detail aliran yang attach pada kontur permukaan silinder ellips serta separasi yang terjadi pada lapisan batasnya. Hasil-hasil berupa data-data kuantitatif maupun kualitatif digunakan untuk saling melengkapi fenomena interaksi aliran tersebut, antara lain data-data kuantitatif yaitu distribusi koefisien tekanan (C_p) pada kontur permukaan, profil kecepatan pada maximum thickness, maupun wake pada downstream silinder, serta data-data kualitatif berupa visualisasi aliran untuk mendapatkan letak separasi bubble maupun separasi masif dengan metode oil-flow picture, maupun hasil post-processing dengan perangkat lunak CFD solver FLUENT 6.2. Penempatan benda uji maupun alat ukur (experimental set-up) pada open-circuit subsonic wind tunnel sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.

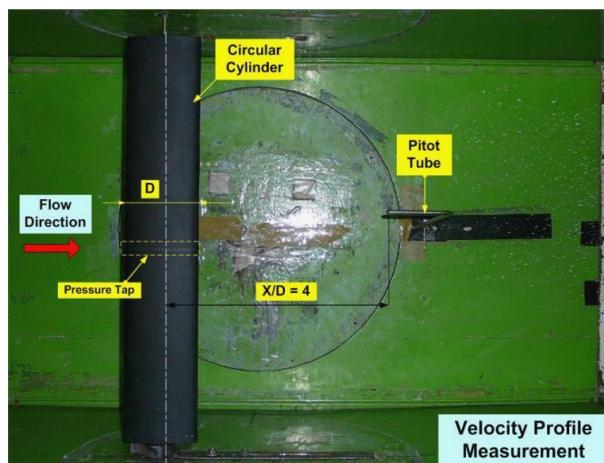
Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



OPEN CIRCUIT SUBSONIC WIND TUNNEL

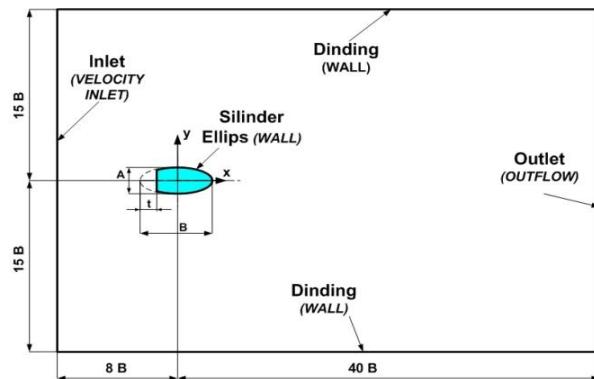
(a)



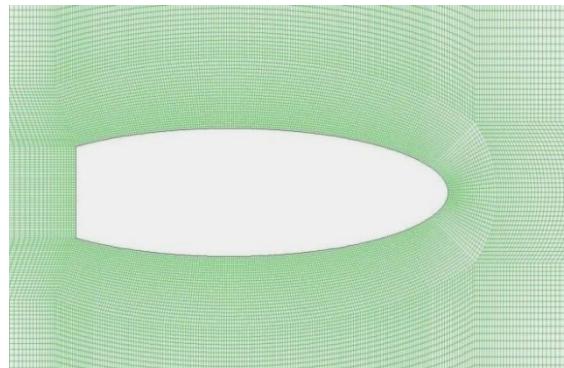
(b)

Gambar 2. (a).Penempatan alat ukur pada open-circuit subsonic wind tunnel; (b) letak benda uji di test-section

Penempatan benda uji maupun alat ukur (experimental set-up) pada open-circuit subsonic wind tunnel (lorong angin) ditunjukkan pada gambar 2. Dimensi silinder ellips dengan $AR=1/3$ yaitu sumbu minor (A) = 28,5 mm dan sumbu mayor (B) = 85,5 mm, sedangkan diameter silinder ellips ($AR=1/4$) memiliki sumbu minor (A) = 28,5 dan sumbu mayor (B) = 114 mm, dan kedua benda tersebut memiliki panjang span yang sama 660 mm. Pressure tap ditempatkan pada bagian mid-span kedua benda dengan jumlah 72 tap dan dihubungkan dengan U-tube manometer. Ukuran lorong angin adalah ukuran penampang test section 660mm x 600mm dengan panjang 1200 mm.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Geometry set-up untuk silinder ellips tunggal ($AR=1/4$); (b) bentuk meshing 2-dimensi (2-D) quadrilateral-map

Pemodelan numerik dilakukan dengan membuat geometry set-up dua dimensi, dengan kondisi batas pada sisi inlet adalah velocity inlet uniform dan sisi outlet adalah outflow, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3(a), sedangkan pada gambar 3(b) ditunjukkan bentuk meshing dua dimensi (2-D) quadrilateral-map. Simulasi akan dilaksanakan dengan pendekatan 2D-steady flow dengan pemodelan turbulence Menter SST (shear stress transport) $k-\epsilon$. Seluruh kajian baik eksperimental maupun pemodelan numerik dilakukan pada bilangan Reynolds (Re_A) $1,6 \times 10^4$ (didasarkan pada panjang sumbu minor (A)).

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik aliran melintasi silinder ellips tunggal dengan melakukan modifikasi pemotongan sisi depan dengan pemotongan 5%, 10%, dan 15% terhadap panjang sumbu mayor (B), dikaji secara detail dengan metode eksperimental maupun pemodelan numerik dengan perangkat lunak CFD solver FLUENT 6.2, dijelaskan dengan menampilkan hasil-hasil kuantitatif seperti distribusi tekanan (C_p) pada kontur permukaan silinder ellips, profil kecepatan pada posisi maximum thickness, profil kecepatan pada daerah wake, serta hasil visualisasi aliran dengan oil flow picture method (eksperimental), maupun hasil post rocessing dari CFD solver Fluent 6.2.

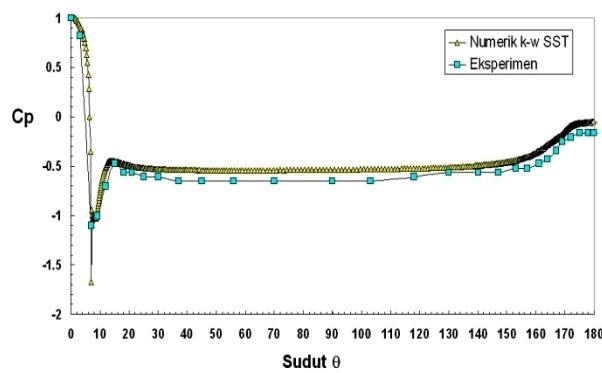
3.1. Distribusi Tekanan (Cp) Silinder Ellips Tunggal (AR=1/4) Dengan Modifikasi

Pada bagian ini ditampilkan distribusi koefisien tekanan (Cp) yang merupakan harga *mean value* atau *time-averaged value* baik dari hasil kajian eksperimental maupun hasil pemodelan numerik dengan pemodelan turbulence 2D-steady flow Menter-SST (shear-stress transport) k- ϵ , untuk silinder ellips tunggal dengan axis ratio (AR = 1/4) yang ditunjukkan pada gambar 4, yang ditampilkan dengan membandingkan distribusi koefisien tekanan (Cp) silinder ellips (AR=1/3) tunggal, baik dengan dan maupun tanpa modifikasi geometri (pemotongan sisi depan dengan prosentase berturut-turut 5%, 10%, dan 15% terhadap sumbu mayor-nya (B)).

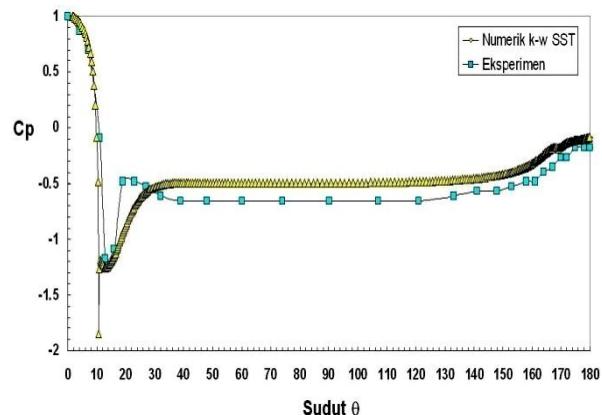
Karakteristik aliran yang menunjukkan adanya interaksi antara fluida dengan benda padat salah satunya ditunjukkan dengan menampilkan distribusi koefisien tekanan (Cp) yang merupakan perbandingan dari perbedaan tekanan antara tekanan freestream dengan tekanan sepanjang kontur benda padat dengan tekanan dinamis dari freestream, atau dapat dirumuskan pada persamaan (1) :

$$C_p = (p_c - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \quad (1)$$

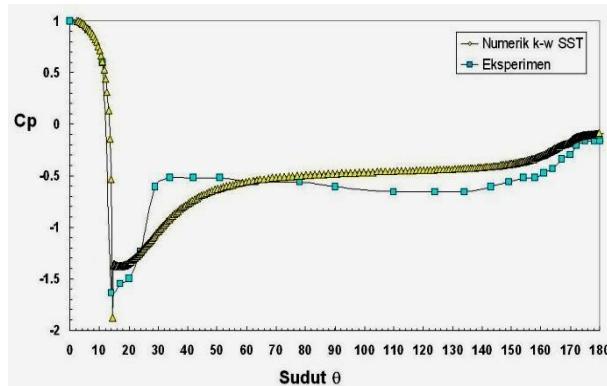
dimana p_c adalah tekanan pada kontur silinder sirkular, p_∞ adalah tekanan statis pada *free-stream*, dan $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2$ adalah tekanan dinamik pada *free-stream*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Distribusi koefisien tekanan (C_p) silinder ellips ($AR=1/4$) tunggal (hasil eksperimental dan numerik)

- a) Silinder Ellips dengan Pemotongan ($a=5\%B$),
- b) Silinder Ellips dengan Pemotongan ($a=10\%B$),
- c) Silinder Ellips dengan Pemotongan ($a=15\%B$).

Berdasarkan gambar 4 (a), (b), dan (c), terlihat evolusi perubahan tekanan sepanjang kontur permukaan silinder ellips, dari daerah stagnasi, posisi akselerasi maksimum, hingga momentum fluida mengalami separasi masif. Hasil eksperimental maupun simulasi numerik dengan pemodelan turbulen viscous Menter SST k - k - ω , menunjukkan hasil yang cenderung konsisten dalam trend meskipun sedikit berbeda dalam harga kuantitatifnya, hal tersebut ditunjukkan oleh semua silinder ellips dengan pemotongan 5% B , 10% B , dan 15% B .

Kesesuaian fisis antara hasil pengukuran (eksperimental) dengan simulasi numerik pada silinder ellips ($AR=1/4$) dengan pemotongan sisi depan 5% B , 10% B , dan 15% B , menunjukkan bahwa modifikasi geometri tersebut mampu mempercepat transisi aliran pada kontur permukaan silinder ellips tersebut dari laminar menjadi semakin turbulen, fenomena tersebut sebagaimana ditunjukkan pada penelitian Aiba dan Watanabe [1997] serta Igarashi dan Shiba [2006], yang dilakukan dengan memodifikasi geometri silinder sirkular dengan melakukan pemotongan sisi depan dengan sudut pemotongan tertentu, yang dikenal dengan silinder tipe-D dan silinder tipe-I.

Silinder ellips ($AR=14$) adalah bentuk bluff body yang memiliki adverse pressure gradient lemah (mild APG) apabila arah aliran tegak lurus terhadap sumbu minor silinder tersebut. Karakteristik bluff body dengan adverse pressure gradient lemah memungkinkan terjadinya fenomena reattachment pada kontur permukaan lengkung yang panjang, terutama pada silinder ellips yang dimodifikasi dengan pemotongan sisi depan tersebut. Momentum fluida yang terdefleksi pada sisi tegak akan berinteraksi dengan momentum fluida pada arah free-stream, hal ini menyebabkan aliran fluida attach pada kontur permukaan lengkung tersebut, dan selanjutnya terjadi transisi dari aliran laminar, terbentuk separasi bubble, hingga menjadi aliran turbulen hingga pada akhirnya terseparasi masif karena melawan shear stress dan adverse pressure gradient.

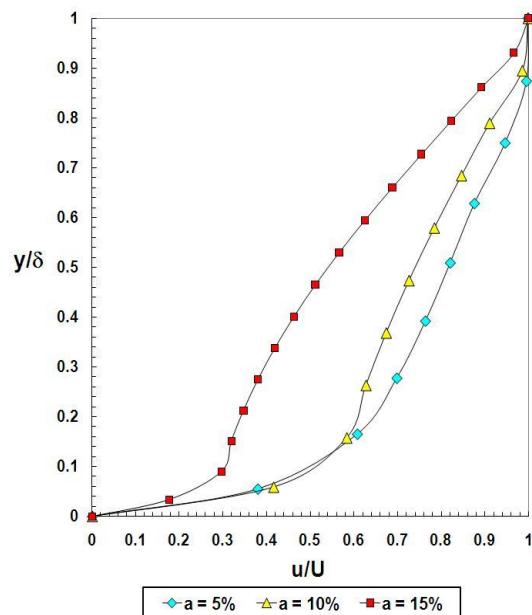
Berdasarkan hasil kuantitatif dari distribusi koefisien tekanan (C_p) pada gambar 4, terdapat perbedaan harga antara hasil eksperimen dengan simulasi numerik, hal tersebut dimungkinkan pada

kajian eksperimental tingkat akurasi alat ukur maupun ketidakpastian pengukuran (uncertainty) memberikan kontribusi pada hal-hal tersebut serta penempatan pressure tap yang tidak dapat dibuat serapat mungkin jarak antar tap-nya, sedangkan pada simulasi numerik ketidaksesuaian tersebut bisa terjadi karena dipengaruhi beberapa hal seperti initial dan boundary condition (kondisi awal dan kondisi batas) dari geometry set-up yang dibuat, turbulence modelling (RANS) yang digunakan, serta properti aliran fluida yang tidak persis sama dengan kondisi pengujian seperti kecepatan uniform pada sisi inlet, harga intensitas turbulensi maupun turbulence length scale yang di-input-kan pada sisi inlet-nya. Hal tersebut diuraikan pada penelitian yang dilakukan oleh Freitas [1999], berkenaan dengan ketidakpastian pada pemodelan numerik (numerical uncertainty).

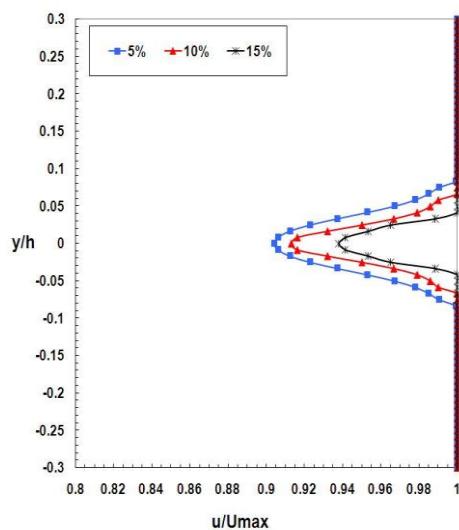
3.2. Profil Kecepatan pada Silinder Ellips Tunggal (AR=1/4) pada Maximum Thickness dan Daerah Wake

Pada bagian ini ditampilkan profil kecepatan pada maksimum thickness maupun pada daerah wake silinder ellips tunggal (AR=1/4), sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Kedua gambar tersebut akan saling memperkuat informasi tentang transisi aliran yang lebih cepat pada kontur permukaan silinder ellip dari laminar menjadi turbulen akibat modifikasi geometri silinder ellips dengan pemotongan sisi depan sebesar 5% B, 10% B, dan 15% B.

Simulasi numerik dengan CFD solver FLUENT 6.2 dapat memberikan data kuantitatif berupa profil kecepatan pada posisi maximum thickness, dan selanjutnya diplot dalam grafik, dimana pada sisi absis adalah perbandingan kecepatan aliran pada posisi hingga harga kecepatan (u) sama dengan kecepatan free-stream-nya, sedangkan pada sisi ordinat adalah letak dari disturbance thickness dimana komponen kecepatan (u) mencapai harga kecepatan free-stream-nya (U). Pemotongan sisi depan silinder ellips sebesar 10% B memberikan harga pada kontur permukaan silinder di maximum thickness cenderung lebih flat, hal tersebut mengindikasikan bahwa profil aliran tersebut lebih turbulen apabila dibandingkan pemotongan 5% B dan 15% B.



Gambar 5. Profil kecepatan $u/U = f(y/\delta)$ pada daerah maksimum thickness silinder ellips tunggal dengan dan tanpa pemotongan (hasil numerik)

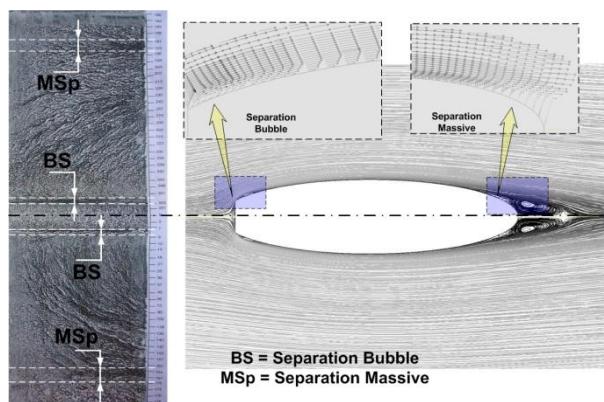


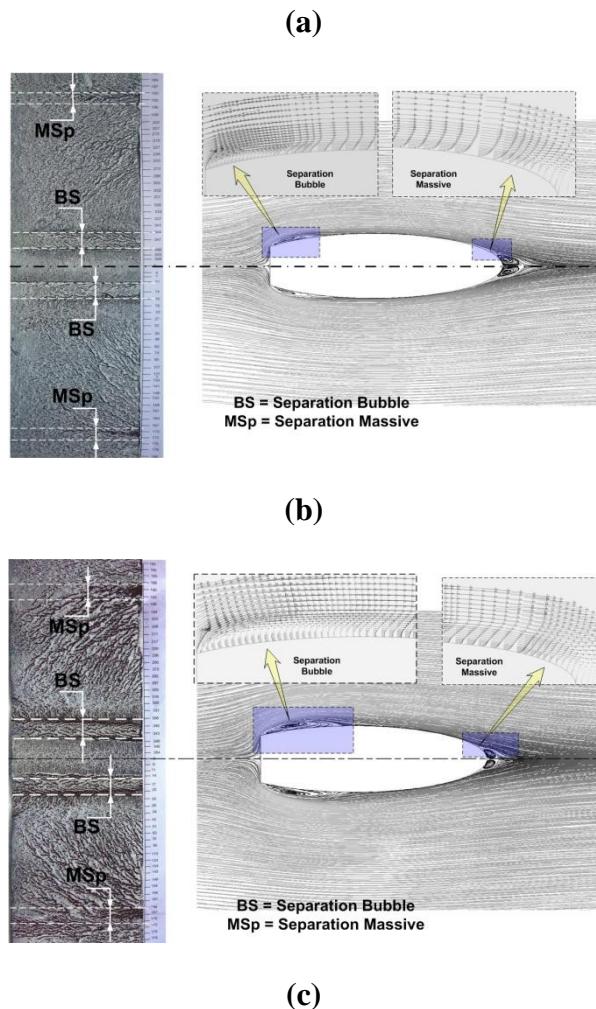
Gambar 6. Profil kecepatan (u/U) di daerah wake silinder ellips (AR=1/4) (hasil eksperimental)

Profil kecepatan pada gambar 6, adalah hasil pengukuran yang diperoleh dengan mengukur distribusi kecepatan pada daerah wake ketiga silinder ellips tersebut pada jarak $3B$ diukur dari pusat silinder ellips. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pemotongan $15\%B$ memiliki defisit momentum yang paling kecil atau memiliki luasan wake yang sempit, jika dibandingkan dengan pemotongan $5\%B$ dan $10\%B$. Wake yang sempit atau defisit momentum yang kecil menunjukkan bahwa separasi masif lebih tertunda ke belakang, dan secara fisis menunjukkan bahwa momentum aliran yang attach pada kontur permukaan silinder ellip pada pemotongan $15\%B$ lebih turbulen dibandingkan kedua modifikasi $5\%B$ dan $10\%B$.

3.3. Visualisasi Aliran

Pada bagian ini dibandingkan hasil visualisasi aliran dengan metode oil-flow picture dengan hasil post-processing simulasi numerik dengan CFD solver Fluent 6.2. Kedua hal tersebut untuk melengkapi informasi yang dikaitkan adanya kesesuaian fisis antara kajian eksperimental dengan simulasi numerik dengan pemodelan turbulen 2D-steady flow Menter-SST $k-\epsilon$, mengenai transisi aliran pada kontur permukaan kedua bentuk silinder ellips, antara lain ditandai dengan letak separasi bubble maupun letak separasi masif pada kontur permukaan silinder ellips (AR=1/4) dengan berbagai modifikasi pemotongan pada sisi depan ($a = 5\%B$, $10\%B$, dan $15\%B$).





Gambar 7. Visualisasi aliran pada silinder ellips (AR=1/4) tunggal dengan oil flow picture methods (experimental) dan Simulasi Numerik

- a) Silinder ellips dengan Pemotongan ($a=5\%B$),
- b) Silinder ellips dengan Pemotongan ($a=10\%B$),
- c) Silinder ellips dengan Pemotongan ($a=15\%B$).

Hasil visualisasi dari metode *oil flow picture* maupun hasil post-processing simulasi numerik menunjukkan adanya kesesuaian fisis sebagaimana ditampilkan pada gambar 7(a), (b), dan (c), terutama detail dari letak separasi bubble pada silinder ellips dengan pemotongan 5%B, 10%B dan 15%B, fenomena tersebut merupakan interaksi aliran yang terdefleksi pada sisi tegak mendapatkan injeksi energi pada sisi free-stream, yang selanjutnya mampu membuat momentum fluida *attach* pada kontur permukaan lengkungnya atau dikenal dengan fenomena reattachment hingga akhirnya fluida terseparasi dari kontur permukaannya. Namun demikian letak separasi masif dari hasil simulasi numerik tersebut secara keseluruhan agak sulit dibedakan satu dengan yang lainnya, hal tersebut salah satu keterbatasan dari pemodelan turbulen 2D-steady flow Menter SST $k-\omega$, yang digunakan pada penelitian ini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang disampaikan pada hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil-hasil kuantitatif (grafik C_p maupun profil kecepatan) maupun kualitatif (visualisasi aliran) memperlihatkan adanya kesesuaian fisis antara hasil eksperimental maupun simulasi numerik yang menunjukkan terjadinya interaksi aliran fluida dengan silinder ellips ($AR=1/4$) yang dilakukan modifikasi dengan pemotongan sisi depan sebesar 5% B , 10% B , dan 15% B .
2. Modifikasi geometri pada silinder ellip ($AR=1/4$) dengan pemotongan sisi depan sebesar 15% B memberikan pengaruh yang paling signifikan dalam mempercepat transisi aliran dari laminar menjadi turbulen, jika dibandingkan dengan pemotongan 5% B dan 10% B .

Daftar Pustaka

1. Niemann, H.J. and Holscher, N., 1990, A Review of recent experiments on the flow past circular cylinders, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.33, pp. 197-209.
2. Zdravkovich, M.M., (1990), Conceptual review of laminar and turbulent flow past smooth and rough circular cylinders, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 33, pp. 53-62.
3. Aiba, S., and Watanabe, H., (1997), Flow characteristics of a bluff body cut from a circular cylinder, *Journal of Fluids Engineering*, vol.119, pp. 453-457.
4. Igarashi T., and Shiba Y., (2006), Drag reduction for D-shape and I-shape cylinders (aerodynamics mechanism of reduction drag), *JSME International Journal, Series B*, Vol.49, No. 4.
5. Feng Bao, Uwe Ch. Dallmann, (2004), Some physical aspects of separation bubble on a rounded backward-facing step, *Aerospace Science and Technology*, vol. 8, pp. 83–91.
6. G. B. Schubauer, (1939), Air Flow in the Boundary Layer of an Elliptic Cylinder, Report No. 652-National Advisory Committe For Aeronautics.
7. Faruqee, Z., Ting, D S-K., Fartaj, A., Barron, R.M., Carrivea, R., (2007), The effects of axis ratio on laminar fluid flow around an elliptical cylinder, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28, pp. 1178-1189.
8. Freitas, J.C, (1999), The Issue of Numerical Uncertainty, 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industry, Melbourne, Australia, 6-8 December.
9. Catalano, P., Wang, M., Iaccarino, G., Moin, P., (2003), Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 24, pp. 463–469.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

10. Catalano, P., Amato, M, (2003), An evaluation of RANS turbulence modeling for aerodynamic applications, *Aerospace Science and Technology* 7, pp. 493–509.