

INTERPRETASI TOPOLOGI SEPARASI ALIRAN TIGA DIMENSI MELEWATI KONFIGURASI BLADE DENGAN FLAT PLATE

Khoiri Rozi, Berkah Fajar Tamtomo Kiono

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto SH, Tembalang, Semarang 50275 Indonesia

Telp/Fax: +62 24 7460059, E-mail: paman_rozi@yahoo.com

Abstrak

Studi ini dibuat untuk memenuhi informasi kualitatif aliran dan efek blockage pada interseksi unsymmetrical wing dengan flat surface. Kajian menggunakan computational fluid dynamics untuk memberikan informasi pola pathline dan interpretasi topologi pola aliran di flat surface. Hasil-hasil simulasi ini menunjukkan pola aliran dipengaruhi oleh angle of attack. Bertambahnya angle of attack menjadikan posisi saddle point bergerak menuju lower side dan menjauhi permukaan wing. Separation line atau imprint horseshoe vortex karena membesarnya angle of attack menjadi terbuka lebih lebar baik pada pressure side maupun pada suction side, ini berarti daerah efek blockage yang diciptakan menjadi semakin besar.

Kata kunci: Angle of attack, blockage effect, saddle point, separation line, imprint horseshoe vortex.

1. PENDAHULUAN

Struktur aliran saat melewati *obstacle* sangat rumit. Perilaku aliran pada fenomena ini ditandai dengan terbentuknya separasi tiga-dimensi, tingginya intensitas turbulensi aliran, naiknya fluktuasi tekanan, terciptanya resirkulasi dan munculnya beragam formasi *vortex*. Ciri spesifik aliran semacam ini adalah dengan terbentuknya sistem *vortex* akibat interaksi gradien tekanan arah vertikal dengan gradien tekanan lateral. Munculnya gradien tekanan disebabkan karena defisit momentum aliran sebagai konsekuensi aliran bersifat *viscous*. Selain interaksi kedua gradien tekanan, munculnya sistem *vortex* disebabkan adanya *cross flow* aliran menuju *obstacle* karena terkontaminasi *leading edge*. Mekanisme fisis selanjutnya kemudian menciptakan *skewing boundary layer* dalam medan aliran. Efek gabungan interaksi gradien tekanan dan *skewing boundary layer* menyebabkan terbentuknya *horseshoe vortex system* menyapu dan melingkupi *obstacle*. Aliran demikian ini diidentifikasi sebagai aliran sekunder (*secondary flow*).

Dalam situasi aplikasi praktis, aliran sekunder ditemukan pada interaksi *blade* dengan *hub* mesin-mesin fluida family *turbomachinery*, aliran melalui konfigurasi *wing* dengan *body* pesawat terbang, aliran pada interseksi *sail* dan *hull* kapal, aliran pada konstruksi dasar jembatan dan aliran melalui konfigurasi sejenisnya. Sejumlah implikasi muncul disebabkan formasi aliran ini. Terjadinya kenaikan laju perpindahan panas, *shear stress* dan fluktuasi tekanan pada *blade* dan *hub* mesin-mesin fluida family *turbomachinery* karena adanya *horseshoe vortex* secara langsung akan mempengaruhi efisiensi mesin. Adanya *multiple vortices* dalam konfigurasi *wing* dan *fuselage* pesawat terbang menjadikan *blockage* yang akan mempengaruhi karakteristik aerodinamis *lift/drag*. Adanya aliran sekunder pada interaksi *sail* dan *hull* kapal dapat mempengaruhi karakteristik *wake* yang

menentukan performa *propeller*. Adanya *local erosion* dan *sediment transport* karena *scouring* pada dasar jembatan menjadikan tanah dan bebatuan fondasi terkikis meninggalkan dasar jembatan sehingga memperlemah konstruksi dan menyebabkan *collapse*-nya jembatan.

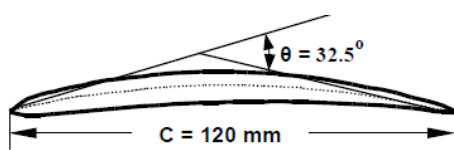
Studi-studi aliran sekunder didasarkan pada pentingnya struktur *junction* dalam bidang rekayasa. Munculnya *multiple vortices* menjadikan kompleksnya struktur aliran sehingga dapat menurunkan efisiensi geometri, Simpson [1]. Coon dan Tobak [2] dan Ballio dan Franzetti [3] membuat sintesa topologi di bagian depan *leading edge*. Hasil kajian Coon dan Tobak ditunjukkan *saddle point of attachment* dan terbentuk evolusi *singular point* dalam aliran. Sedangkan kajian Ballio dan Franzetti ditemukan konsentrasi vortisitas pada *bottom surface* karena *reverse flow* dengan difusi vortisitas *boundary layer* terdiri dari dua pasang *vortex* dipisahkan *internal saddle point* dan sebuah *secondary vortex* terseparasi dari *bottom surface*. Karakteristik kinematis dan dinamis *vortex system* dianalisa Ballio dkk [4]. Hasilnya didapat *vortex system* aliran turbulen dan dimensinya hanya ditentukan geometri *leading edge*, sedangkan dalam aliran laminar dipengaruhi besar *Reynolds number* dan tebal lapisan batas. Agui dan Andreopoulos [5] menguji separasi *boundary layer* pada interaksi *circular cylinder* dengan *flat surface*. Hasilnya dengan *Reynolds number* 105 dan $2,2 \times 10^5$ ditemukan titik separasi *oncoming boundary layer* berjarak sekitar $0,76D$ dan $0,82D$ (D = diameter silinder) di depan silinder. Studi hubungan *wall shear stress* dengan formasi *horseshoe vortex* oleh Ballio dkk [6] ditunjukkan bahwa distorsi distribusi tekanan karena *vortex* didekati penyelesaian potensial dua-dimensi. Pierce dan Shin [7] mengamati pertumbuhan *vortex* pada aliran turbulen daerah interaksi *streamlined cylinder* dengan *flat surface* ditemukan aliran didominasi *single vortex* dan ditemukan *corner vortex*.

Investigasi secara eksperimental *turbulent shear layer* pada interaksi *appendage* dengan *flat plate* oleh Merati dkk [8] ditemukan dominasi akibat *horseshoe vortex* berdampak pada redistribusi lapisan geser turbulen. Abdulla dkk [9] mengukur distribusi lapisan geser dan tekanan statis pada interseksi *blade* dengan *plate surface* didapat kenaikan maksimum *shear stress* pada *corner* antara *leading edge* dengan *thickness maksimum*.

Kajian-kajian aliran pada *wing-body junction* dilakukan oleh Kubendran dan McMahon [10], Devenport dan Simpson [11], Devenport dan Simpson [12], Fleming dkk [13], Ölçmen dan Simpson [14]. Kubendran dan McMahon [10] menguji aliran daerah *upstream* ditunjukkan *vortex strength* dan separasi vortex dipengaruhi oleh kelengkungan *leading edge*. Kajian serupa Devenport dan Simpson [11] didapat kecepatan *backflow* cukup rendah pada *upstream* dan resirkulasi mendominasi *downstream*. Studi lanjutan Devenport dan Simpson [12] didapat bahwa *eddy viscosity* dan persamaan transport k-ε kurang mampu memprediksi aliran. Pengujian karakteristik turbulen dalam *wake* dilakukan Fleming dkk [13] diperoleh kuatnya gradien tekanan dan defleksi aliran akan mempengaruhi distorsi dan distribusi vortisitas *boundary layer*. Kajian Ölçmen dan Simpson [14] ditunjukkan *leading edge* menentukan intensitas fluktuasi tekanan dan *primary separation*. Sudah banyak dilakukan penelitian dalam usaha mereduksi dan mengeliminasi banyaknya implikasi tersebut. Sampai saat ini belum ditemukan adanya solusi dengan tepat untuk mendiagnosa struktur aliran, sehingga perlu dilakukan dengan menguji berbagai kondisi aliran dan beragam bentuk geometri junction. Maka dilakukan kajian efek *blockage* ini pada daerah konfigurasi wing dengan *flat surface*.

2. MODEL DAN TEKNIK PENGUJIAN

2.1. Benda Uji



Gambar 2.1 Profil Wing – 9C732.5C50

Makna 9C7/32.5C50:

[9] = 9% maximum thickness-chord ratio.

[C7] = basic wing profile.

[32.5] = camber angle.

[C] = circular arc camber line.

[50] = 50% maximum camber pada posisi $\frac{1}{2}$ chord.

2.2. Teknis Pengujian

Perangkat *computational fluid dynamics* dalam penelitian ini software fluent 6.2. Pada saat menjalankan software fluent 6.2 terdapat dua macam pilihan penyelesaian (*solver*), yaitu *single precision* dan *double precision solver*. Penggunaan kedua *solver* ini

tergantung pada jenis dan karakteristik masalahnya. Bila masalah sederhana dan tidak membutuhkan keakuratan lebih, maka digunakan *single precision* karena akan dapat mempercepat konvergensi. Jika masalahnya jauh lebih kompleks dan butuh keakuratan tinggi, maka digunakan *double precision* meskipun lebih lama konvergensi dan butuh memori komputer lebih besar. Urutan menjalankan fluent 6.2 untuk penelitian ini sebagai berikut:

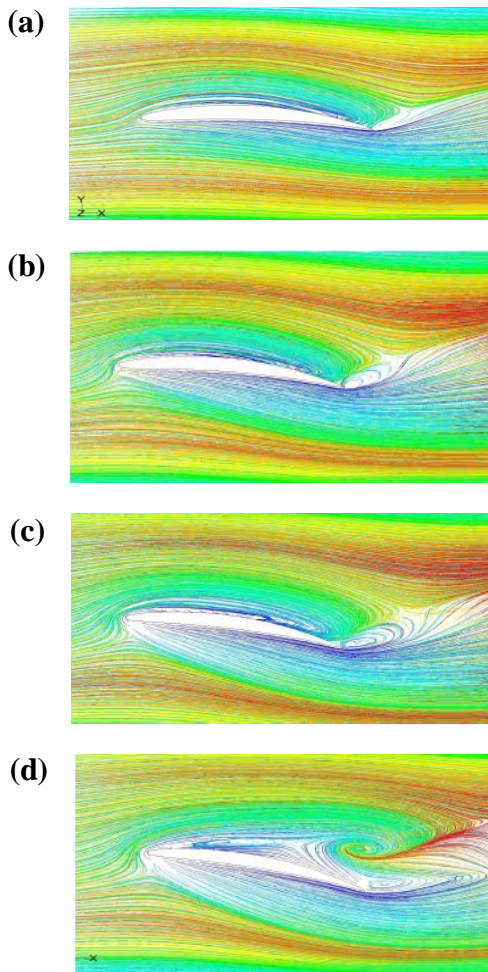
1. Dipilih model tiga dimensi (3d,dp).
2. **Grid:** Impor grid dari gambit, caranya (i) Membuat profil wing 9C7/32.5C50, *chord* = 120 mm, *span* = 300 mm. Mensetting posisi pada $\alpha = 40, 80, 120, 160$. (ii) Menentukan solver. (iii) Menentukan daerah analisis, tipe continuum dan kondisi batas. (iv) Membuat mesh *hexahedral* atau *quadrilateral* pada semua permukaan wall.
3. **Model Turbulen:** Menggunakan k-ε RNG, C1-Epsilon = 1.42 dan C2-Epsilon = 1,68 serta *swirl factor* = 0,07.
4. **Materials:** udara dengan *density* 1,225 kg/m³ dan *viscosity* 1,789x10⁻⁵ kg/m.s.
5. **Operating conditions:** Daerah operasi menggunakan tekanan 1 atm.
6. **Boundary conditions:** Kondisi batas *inlet* kecepatan 15 m/s dengan arah sesuai *angle of attack*. Kondisi batas outlet adalah *outflow*. Kondisi batas dinding arah span simetris dan arah pitch periodik transversal.
7. **Solution:** Penyelesaian masalah berupa proses iterasi minimal sampai 10⁻⁵ untuk mencapai konvergensi.
8. **Postprocessing**

3. HASIL DAN DISKUSI

Secara kualitatif struktur aliran diwakili pola *pathlines* pada plate surface. Gambar 3.1a merupakan pola *pathlines* permukaan *flat surface* pada $\alpha = 4^\circ$. Posisi *saddle point* sangat dekat *leading edge* karena momentum aliran mampu membawa fluida mendekati wing. Kurva *imprint horseshoe vortex* relatif sempit, ini menandakan kecepatan arah longitudinal lebih besar daripada kecepatan arah lateral meskipun aliran mengalami defisit momentum karena adanya *adverse pressure gradient*. Dampaknya gradient kecepatan dan *wall shear stress* longitudinal lebih besar. Sehingga akhirnya menghasilkan sudut reorientasi *boundary layer* sempit yang diindikasikan dengan terbentuknya *imprint horseshoe vortex* yang sempit.

Pada $\alpha = 8^\circ$ (Gambar 3.1b), terlihat *saddle point* menjauhi *leading edge* dengan *imprint horseshoe vortex* melebar. Ini dikarenakan aliran menemui peningkatan *adverse pressure gradient* sehingga defisit momentum aliran bertambah yang diikuti turunnya kecepatan longitudinal. Akibatnya gradien kecepatan dan *wall shear stress* arah lateral menjadi membesar dengan menciptakan sudut orientasi *boundary layer* bertambah besar. Pada $\alpha = 12^\circ$ (Gambar 3.1c), aliran

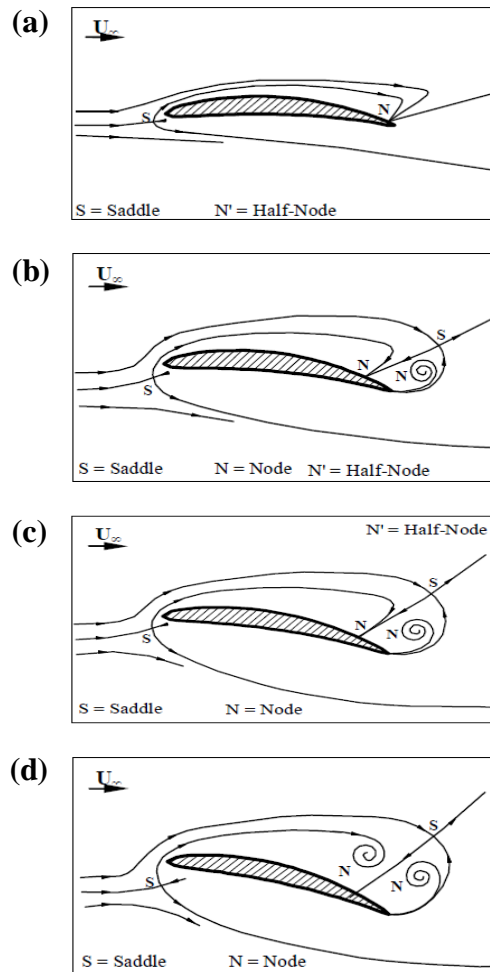
mengalami peningkatan *adverse pressure gradient* dan gaya *viscous* sehingga defisit momentum aliran akan bertambah yang ditandai bertambahnya kecepatan lateral dengan menciptakan gradien kecepatan dan *wall shear stress* arah lateral semakin besar. Dampaknya kurva *imprint horseshoe vortex* semakin lebar. Posisi titik separasi bergerak mendekat *maximum thickness*. Pada $\alpha = 16^\circ$ (Gambar 3.1d), tercipta system rangkaian *singular point* yang mengandung *saddle*, dua *node*, *half-saddle* dan *backward saddle*. Ini menandakan struktur aliran sangat kompleks.



Gambar 3.1. Pathline pada Flat plate

Topologi aliran permukaan pelat datar pada $\alpha = 4^\circ$ sampai $\alpha = 16^\circ$ seperti Gambar 3.2. Pada $\alpha = 4^\circ$ (Gambar 3.1a) aliran didominasi *horseshoe vortex*, posisi *saddle* sangat dekat *leading edge* (LE) dengan kaki *horseshoe vortex* menjauhi permukaan *wing* dan *wall*. Pada *pressure side* (PS) aliran total terseparasi. Posisi *half-saddle* bergeser mendekat menuju *maximum thickness* dari *trailing edge* (TE). Pada $\alpha = 8^\circ$ (Gambar 3.2b), terjadi pergeseran *saddle* menjauhi LE sehingga membuat *imprint horseshoe vortex* bertambah lebar. Tercipta *half node* dari transformasi *half saddle* pada posisi menuju *thickness* maksimum.

Pada $\alpha = 12^\circ$ (Gambar 3.2c), pada lokasi *downstream* terbentuk *spiral point*, *half node* dan *backward saddle*. Pada $\alpha = 16^\circ$ (Gambar 3.2d), terjadi perubahan posisi *saddle* semakin menjauh dari *leading edge* dan *separation line* membuka lebih lebar. Pada lokasi *suction side* (SS), titik separasi menuju *maximum thickness*. Menjauhnya *saddle* karena *adverse pressure gradient*, sedangkan lebarnya *separation line* karena orientasi *boundary layer* membesar. Diduga dengan membesarnya *angle of attack* maka rangkain struktur pola aliran semakin kompleks.



Gambar 3.2. Interpretasi Topologi

Fenomena yang juga dapat diamati dengan adanya perubahan *angle of attack* adalah terjadinya proses transformasi dan evolusi *singular point* karena membesarnya *angle of attack* dari *half-node* menjadi *saddle* atau sebaliknya dan juga terbentuk rangkaian *singular point* sangat kompleks. Diperkirakan dengan semakin membesarnya *angle of attack* maka akan terbentuk struktur aliran yang lebih kompleks. Ini bias ditunjukkan dengan terbentuknya rangkaian *singular point* yang mengandung *saddle point*, *node*, *half node*, *backward saddle* dan rangkain *secondary vortex* yang mungkin terbentuk pada daerah sangat jauh di belakang

downstream. Dampak selanjutnya akan menjadikan instabilitas aliran utama.

4. KESIMPULAN

Bertambahnya *angle of attack* membuat posisi *saddle point* bergerak menjauhi *leading edge* dan *imprint horseshoe vortex* membuka lebih lebar. Melebarnya *imprint horseshoe vortex* atau *separation line* sebagai indikasi *blockage* sangat kuat. Jika ini terjadi maka akan mengganggu aliran utama dan menjadikan efisiensi konfigurasi turun. Bertambahnya *angle of attack* juga dapat menjadikan terbentuknya rangkaian singular point sangat kompleks. Kompleksitas *singular point* ini akan membuat stabilitas aliran utama terganggu dan akhirnya menyebabkan ketidakefisienan suatu struktur. Jadi ada batasan posisi *angle of attack* untuk mendapatkan struktur aliran utama menjadi stabil dan membuat optimasi desain tercapai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simpson, R. L., "Junction Flows", Annual Review Fluid Mechanics, vol. 33, 2001, pp.415-443.
- [2] Coon M. D., and Tobak. M., "Experimental Study of Saddle Point of Attachment in Laminar Juncture Flow", AIAA Journal 33(12), 1995, pp.2288-2292.
- [3] Ballio F., and Franzetti S., "Topological Analysis of a Junction Vortex Flow", Proceedings of Advances in Fluid Mechanics 2000, Montreal, Canada, 24-26 May, 255- 264, ISBN 1-85312-813-9, WIT Press, Southampton.
- [4] Ballio F., Bettoni C., and Franzetti S., "A Survey of Time-Averaged Characteristics of Laminar and Turbulent Horseshoe Vortices", ASME Journal of Fluids Engineering, 120 (2), 1998, pp.233-242, New York, USA.
- [5] Agui, J. H., and Andreopoulos, J., "Experimental Investigation of Three-Dimensional Boundary Layer Flow in the Vicinity of an Upright Wall Mounted Cylinder", AIAA 21st Fluid Dynamics, Plasma Dynamics and Lasers Conference, Seattle, WA, 1990, pp.1-12.
- [6] Ballio F., Guadagnini A., and Malavasi S., "Stresses Due to a Horseshoe Vortex at a Surface-Cylinder Intersection", Proceedings 3rd International Conference on Hydrosience and Engineering ICHE '98, Cottbus 31 August-3 September 1998.
- [7] Pierce, F.J., and Shin, J., "The Development of Turbulent Junction Vortex System", Journal of Fluid Engineering, vol. 114, 1992, pp. 559- 566.
- [8] Merati, P., McMahon, H. M and Yoo, K. M., "Experimental Investigation of a Turbulent Flow in The Vicinity of an Appendage Mounted on a Flat Plate", Journal of Fluid Engineering, vol. 113, 1991, pp.635-642.
- [9] Abdulla, A. K., Bhargava, R. K., and Raj, R., "An Experimental Study of Local Wall Shear Stress, Surface Static, and Flow Visualization Upstream, Alongside, and Downstream of a Blade Endwall Corner", ASME paper 1991, no 87 GT-181.
- [10] Kubendran, L. R., and McMahon, H. M., "Turbulent Flow Around a Wing/Fuselage-Type Juncture", AIAA Journal vol. 24, 1986, pp.1447-1452.
- [11] Devenport, W. J., and Simpson, R. L., "Time Dependent and Time Averaged Turbulent Structure Near the Nose of a Wing-Body Junction", Journal of Fluid Mechanics, vol. 210, 1990, pp. 23-55.
- [12] Devenport, W. J., and Simpson, R. L., "Flow Past a Wing-Body Junction—Experimental Evaluation of Turbulence Models", AIAA Journal 4(30), 1992, pp. 873-881.
- [13] Fleming, J. L., Simpson, R. L., Cowling, J. E., and Devenport, W. J., "An Experimental Study of a Turbulent Wing-Body Junction and Wake Flow", Experiment in Fluid (14), 1992, pp. 366-378.
- [14] Ölçmen, B. E., and Simpson, R. L., "Influence Wing Shapes on Surface Pressure Fluctuation at Wing-Body Junction" AIAA Journal, vol. 32, No. 1, 1994, pp.6-15.