

KARAKTERISTIK ALIRAN DI SEKITAR SILINDER SIRKULAR DAN SILINDER BERSIRIP

Sudirman¹

¹Staf Pengajar Teknik Mesin Universitas Borneo Tarakan
Email: sudirman.ftborneo@gmail.com

Naskah diterima: 19 Juni 2019 ; Naskah disetujui: 30 Juni 2019

ABSTRAK

Aliran yang melalui suatu benda akan menghasilkan karakteristik aliran yang sangat tergantung pada beberapa parameter fisik, diantaranya; bentuk benda, kondisi permukaan, maupun orientasi benda yang dilintasi. Penelitian ini, penulis menggunakan software Gambit 2.4 dan Fluent 6.3 untuk memodelkan silinder bersirip dengan variasi jarak antar fin. Diameter silinder, panjang silinder, panjang fin, dan tebal fin adalah variabel yang tetap konstan. Variabel yang diubah adalah jarak antar fin, yaitu 10 mm, 14 mm, dan 18 mm. Simulasi numerik pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan 3D-steady flow Reynolds Averaged-Navier Stokes (RANS) dan RNG k- ϵ . Properties udara yang digunakan pada kondisi STP dengan temperatur 28°C adalah, densitas (ρ) = 1,17 kg/m³ dan viskositas (μ)=1,85 x 10⁻⁵ N.s/m². Kondisi inlet aliran udara, velocity inlet 16 m/s dan intensitas turbulensi 1,56 % diterapkan pada kondisi batas inlet domain simulasi numerik. Aliran fluida yang melalui silinder yang terdapat clearance antara silinder dan dinding tidak terbentuk pasangan vorteks dengan arah aliran tertutup (close loop) sebagaimana umumnya vorteks aliran 2D di belakang silinder sirkular. Terbentuk vorteks pada celah antar fin terutama pada celah antar fin di dekat clearance antara silinder bersirip dan dinding. Semakin banyak vorteks yang terbentuk, maka akan menghasilkan induced drag yang besar terutama pada silinder bersirip dengan jarak antar fin yang lebih sempit. Silinder bersirip menghasilkan daerah wake yang lebih panjang sebelum terjadi attached flow.

Kata Kunci : silinder bersirip, Fluent, simulasi numerik, silinder sirkular.

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor, jembatan, dan alat-alat transportasi adalah diantara dari sekian banyak bidang yang perancangannya dipengaruhi oleh sifat aliran fluida. Fluida yang mengalir melalui sebuah benda dimana medan aliran fluida meliputi benda tersebut, maka benda tersebut akan mengalami gaya-gaya akibat interaksi dengan fluida di sekelilingnya. Gaya yang bekerja pada benda akibat proses tersebut adalah gaya angkat dan gaya drag pada permukaan benda. Interaksi tersebut khususnya pada daerah *boundary layer* yang dapat menyebabkan transisi aliran laminar menjadi turbulen. Proses transisi ini menimbulkan sparasi aliran yang sangat tergantung pada bentuk benda, orientasi, kecepatan *freestream*, sifat fluida dan kondisi permukaan benda. Umumnya benda yang bentuknya ramping (*streamlined*) akan mendapatkan pengaruh lebih kecil akibat interaksi dengan fluida di sekitarnya, dibandingkan pengaruh fluida terhadap benda tumpul (*bluff body*).

Interaksi antara fluida dan benda adalah gaya pertemuan antar permukaan keduanya, berupa tegangan geser sebagai pengaruh viskositas dan

tegangan normal akibat tekanan. Resultan gaya yang searah dengan *freestream* disebut *drag*, sedangkan resultan gaya yang tegak lurus terhadap arah kecepatan *freestream* disebut *lift*. *Drag* dapat disebabkan oleh tegangan geser maupun tekanan, *drag* pada benda *streamlined* sebagian besar disebabkan oleh tegangan geser dan pada benda *bluff body* didominasi oleh perbedaan tekanan di bagian depan dan belakang benda (*adverse pressure gradient*). Namun pada kondisi tertentu (utamanya pada fluida dengan viskositas tinggi), tegangan geser maupun tekanan akan memberikan kontribusi terhadap *drag* yang cukup signifikan.

Pada silinder sirkular yang termasuk benda *bluff body*. Permukaan silinder yang melengkung menyebabkan tekanan bervariasi sepanjang permukaan benda ketika dilalui aliran fluida. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi kecepatan fluida sepanjang tepi *boundary layer* akibat bidang melengkung tersebut. Berdasarkan hal tersebut, pengetahuan tentang karakteristik aliran fluida melalui silinder bersirip menjadi cukup penting untuk diamati.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Aliran di Sekitar Silinder

Aliran yang melalui suatu benda akan menghasilkan karakteristik aliran yang sangat tergantung pada beberapa parameter fisik, diantaranya; bentuk benda, kondisi permukaan, maupun orientasi benda yang dilintasi. Parameter lain yang mempengaruhi karakter aliran luar (*external flow*) adalah parameter tak berdimensi (*dimensionless parameters*), yaitu bilangan Reynolds dan bilangan Mach. Bilangan Reynolds merupakan perbandingan efek inersia dan efek viskos sebagaimana dirumuskan sebagai berikut,

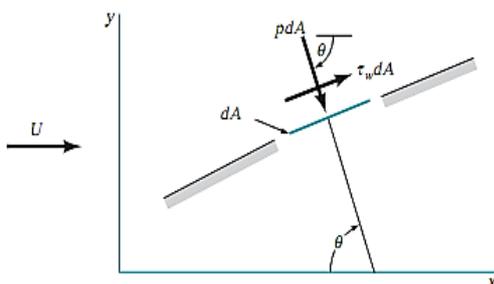
$$Re = \rho U d / \mu \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- Re = Bilangan Reynolds
- ρ = Massa jenis (kg/m^3)
- U = Kecepatan aliran (m/dt)
- d = Diameter pipa (m)
- μ = Viskositas dinamik ($N.s/m^3$)

Peningkatan bilangan Reynolds pada aliran yang melewati *bluff body* mengakibatkan efek viskos di depan daerah yang dekat permukaan silinder semakin berkurang dan sebaliknya pada daerah *downstream* akan terbentuk olakan (*wake*). Efek inersia fluida menjadi penting karena fluida yang mengalir tidak dapat mengikuti lintasan melengkung silinder, sehingga pada permukaan benda terbentuk separasi aliran.

Pada silinder bundar, permukaan benda akan terdiri dari bagian yang sejajar dan tegak lurus terhadap aliran *freestream* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Kondisi aliran yang tegak lurus terhadap permukaan, *drag* sepenuhnya dipengaruhi oleh *pressure force* sebagaimana telah diuraikan di atas. Sedangkan bagian permukaan benda yang sejajar dengan aliran, *drag* yang terjadi dipengaruhi oleh *skin friction force*, yaitu gaya yang menyinggung permukaan secara tangensial sebagai akibat adanya efek viskositas. Pada benda yang berada dalam medan aliran udara yang viskositasnya kecil, kontribusi tegangan geser terhadap *drag* cukup kecil [1].



Gambar 1. Gaya tekan dan gaya geser pada elemen kecil dari permukaan benda

Komponen gaya-gaya yang bekerja pada permukaan benda dari Gambar 1 dituliskan sebagai berikut:

$$dF_x = (p dA) \cos \theta + (\tau_w dA) \sin \theta \dots\dots(2)$$

$$dF_y = -(p dA) \sin \theta + (\tau_w dA) \cos \theta \dots\dots(3)$$

Resultan gaya ke arah sumbu-x atau sejajar dengan kecepatan *freestream* adalah *drag*, sedangkan resultan gaya ke arah sumbu-y adalah gaya *lift*. Pada benda simetris pengaruh gaya *lift* dapat diabaikan, sedangkan gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut,

$$F_d = F_{d,p} + F_{d,f} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_d = \int p \cos \theta dA + \int \tau_w \sin \theta dA \dots\dots(4)$$

Sehingga koefisien *drag* gesekan, dinyatakan sebagai berikut,

$$C_{Df} = \frac{2}{\rho U^2} \int_0^\pi \tau_w \sin \theta d\theta \dots\dots\dots(5)$$

Penelitian tentang aliran fluida melewati silinder bersirip telah dilakukan oleh beberapa peneliti, Ishima dkk [2], Pis'mennyi [3], dan Widodo dkk [4] telah meneliti perubahan aliran dari up-stream hingga down-stream setelah melewati benda uji dengan beberapa variasi.

Beberapa contoh studi di atas menggunakan objek penelitian silinder sirkular dengan fin berbentuk gelang (*annular fins*) yang penggunaannya banyak ditemui sebagai pendinginan udara *internal engine combustion* maupun alat penukar kalor. Laju perpindahan panas akan meningkat dengan meningkatnya jumlah fin pada silinder, namun pada aliran udara rendah, pendinginan silinder akan berkurang dengan penyempitan jarak antar fin akibat penambahan jumlah fin. Hal tersebut disebabkan udara tidak mengalir dengan baik pada ruang antar fin [5]. Penambahan objek pada domain aliran fluida akan memberikan kontribusi terhadap *pressure drop* aliran [3], sehingga hal tersebut menjadi hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan teknik. Khashehchi dkk [6], mengamati karakteristik aliran di belakang silinder bersirip dan *foamed cylinder*. Pengukuran dilakukan dengan PIV (*Particle Image Velocimetry*) pada *wind tunnel*, sedangkan objek penelitian yang diamati yaitu silinder sirkular, silinder bersirip, dan *foamed cylinder* pada bilangan Reynolds antara 1.000 s/d 10.000. Pada eksperimen tersebut dihasilkan bahwa ukuran struktur aliran turbulen di belakang silinder bertambah besar ketika fin atau foam ditambahkan pada silinder. Pada silinder polos dan silinder bersirip didapatkan pola aliran yang sama, yaitu peningkatan bilangan Reynolds berbanding

terbalik dengan ukuran pada daerah formasi vorteks.

Ishima dkk [2], melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik aliran di sekitar silinder bersirip dengan kemiringan tertentu untuk memperoleh data eksperimental yang dapat diverifikasi dengan simulasi numerik. Eksperimen tersebut dilakukan dengan menggunakan PIV and LDA (*Laser Doppler Anemometer*). Variasi penelitian yang dilakukan yaitu kemiringan silinder tanpa dan dengan fin pada kemiringan 0,15, dan 30 derajat dari garis vertikal dengan kecepatan rata-rata 3,8 m/s dan intensitas turbulen relatif 1,5 %.

Kemiringan silinder mengakibatkan daerah olakan semakin panjang dan komponen kecepatan yang tegak lurus dengan arah *main stream* memiliki perbedaan yang besar dengan komponen kecepatan silinder miring. Pada silinder tanpa fin, daerah olakan terpanjang pada kemiringan 15 derajat dibandingkan dengan kemiringan 0 derajat dan 30 derajat, sedangkan pada silinder bersirip, medan aliran menjadi lebih rumit khususnya daerah di dekat silinder. Aliran di sekitar silinder bersirip dengan kemiringan 0 derajat hampir sama dengan silinder tanpa sirip. Namun ketika silinder bersirip dimiringkan dihasilkan peningkatan *wake*. Selain itu, fin menjadikan aliran lebih kompleks serta silinder bersirip ekuivalen dengan silinder diameter yang lebih besar.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan *software* Gambit 2.4 dan Fluent 6.3. Pada gambar 2 ditampilkan model silinder bersirip dengan variasi jarak antar fin yang digunakan pada penelitian ini. Parameter penelitian yang digunakan secara lengkap ditampilkan pada tabel 1. Diameter silinder, panjang silinder, panjang fin, dan tebal fin adalah variabel yang tetap konstan. Variabel yang diubah adalah jarak antar fin, yaitu 10 mm, 14 mm, dan 18 mm. Jarak antar fin dan panjang fin yang dipilih berada pada batas nilai eksperimen yang dilakukan oleh Pis'mennyi [3], yaitu masing-masing 4 mm s/d 20 mm dan 12.0 mm s/d 48.5 mm. Geometri yang digunakan pada penelitian tersebut telah disesuaikan dengan parameter yang banyak diterapkan di industri.

Tabel 1 Dimensi objek dan variasi penelitian dalam mm

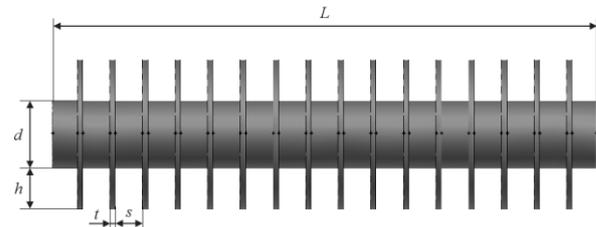
No	Objek	D	L	h	s	t
1.	Finned	2			1	1
	Cylinder	5	200	15	0	4
2.	Bare	2			-	-
	Cylinder	5	200	-	-	-

Keterangan:

d = diameter silinder s = jarak antar fin (*fin pitch*)

L = panjang silinder t = tebal fin

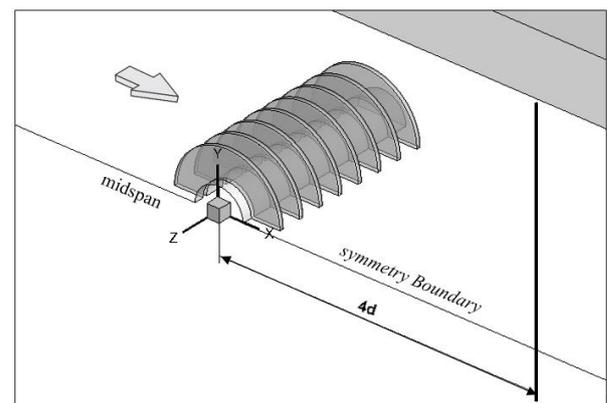
h = panjang fin



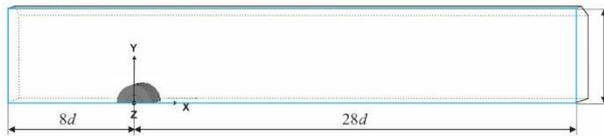
Gambar 2. Model objek penelitian

Simulasi numerik pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan 3D-*steady flow Reynolds Averaged-Navier Stokes* (RANS) dan RNG $k-\epsilon$. *Properties* udara yang digunakan pada kondisi STP dengan temperatur 28°C adalah, densitas (ρ) = 1,17 kg/m³ dan viskositas (μ)=1,85 x 10⁻⁵ N.s/m². Kondisi *inlet* aliran udara, *velocity inlet* 16 m/s dan intensitas turbulensi 1,56 % diterapkan pada kondisi batas *inlet* domain simulasi numerik.

Silinder bersirip yang menjadi objek pengamatan pada penelitian ini merupakan bentuk benda yang simetris, demikian pula bentuk saluran yang digunakan. Pada kondisi *steady*, diperkirakan medan aliran yang terbentuk akan simetris, maka pada penelitian ini digunakan batas simetri (*symmetry boundary*). Domain simulasi ditunjukkan pada gambar 4, domain simulasi numerik ditentukan masing-masing 8d dan 28d dari sisi *inlet* dan sisi *outlet* terhadap titik pusat silinder sedangkan jarak terhadap dinding atas sebesar 6d.



Gambar 3. Model simetris 3D pada simulasi numerik silinder bersirip



Gambar 4. Domain simulasi numerik

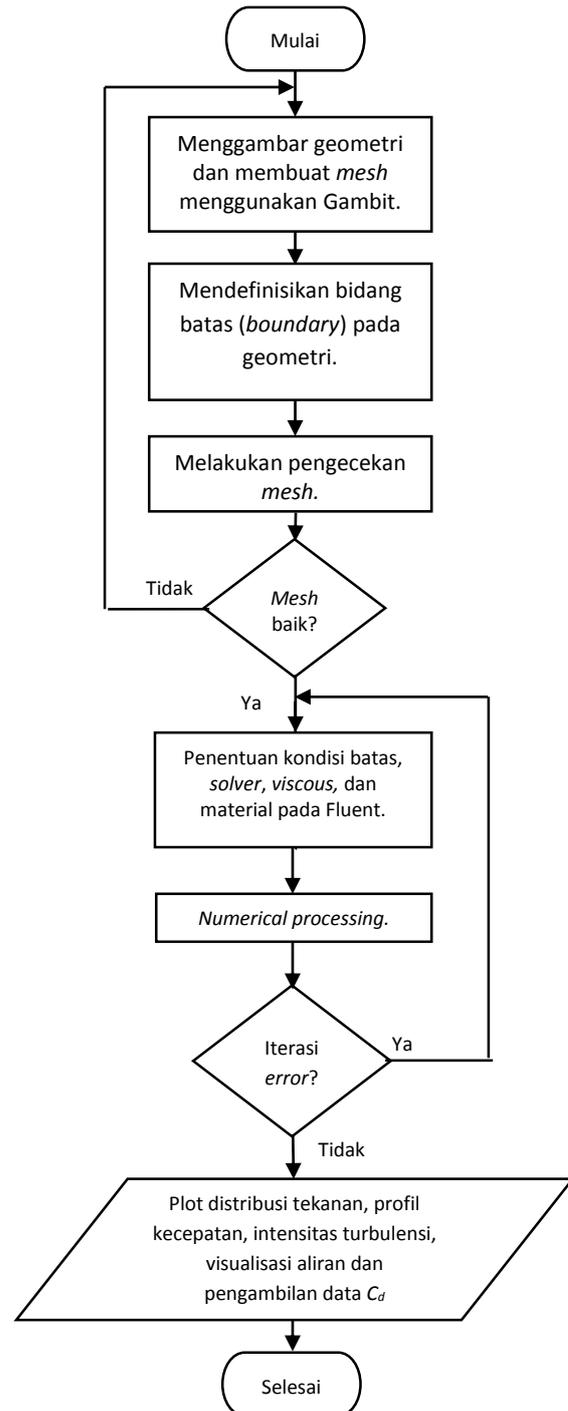
Proses *grid independensi* diperlukan untuk menentukan struktur *grid* terbaik dan efisien agar hasil pemodelan mendekati kondisi *real*. Pada Tabel 2 ditunjukkan *meshing* benda uji silinder sirkular tanpa fin dengan pemodelan 3D. Setelah dilakukan validasi dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ladjedel, dkk [7] tentang aliran yang melintasi silinder sirkular, maka *meshing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *meshing* C dengan *error* nilai C_D yang terkecil 1,59%.

Tabel 2. *Grid independensi* silinder sirkular tanpa fin.

Meshing	Faces	C_D	C_D^*	Error
A	582.166	1,028	1,26	18,41 %
B	612.066	1,064	1,26	15,56 %
C	671.866	1,24	1,26	1,59 %
D	701.766	1,31	1,26	3,97 %
E	731.666	1,326	1,26	5,24 %

*[7]

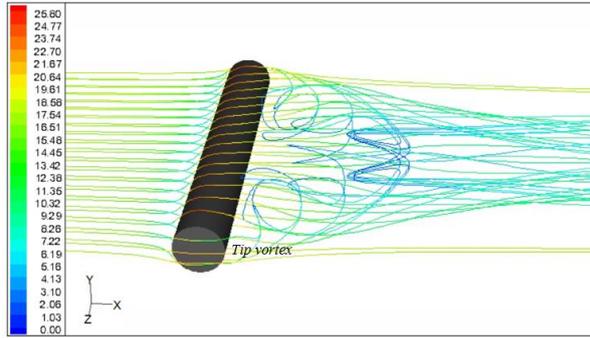
Pada Gambar 5 ditampilkan diagram alir proses simulasi numerik yang dilakukan pada penelitian ini. Pada diagram ditunjukkan urutan langkah-langkah dari seluruh proses simulasi numerik yang dilakukan. Ketika terjadi kesalahan dalam proses iterasi, berupa iterasi yang tidak konvergen, maka dilakukan pengecekan ulang terhadap pengaturan kondisi batas, kriteria konvergensi dan *viscous model* yang digunakan.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

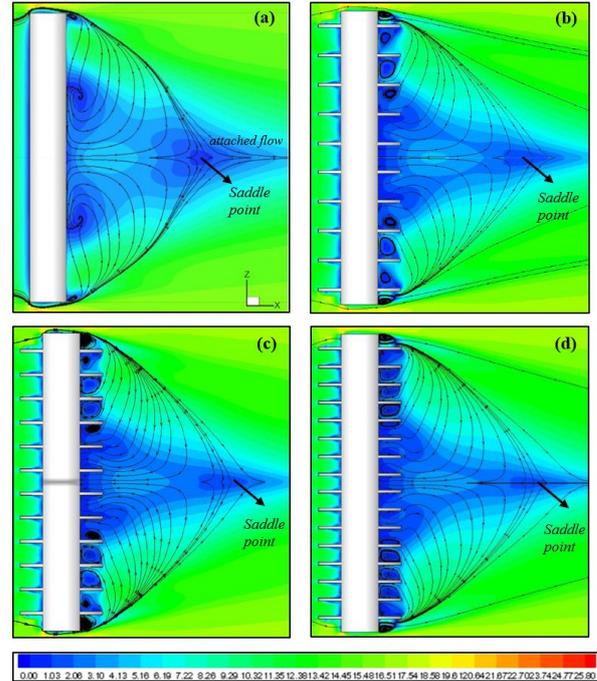
Data hasil simulasi numerik yang ditampilkan dan dianalisa pada penelitian ini yaitu, *contour plot* dan *pathline plot* yang ditampilkan sebagai berikut:



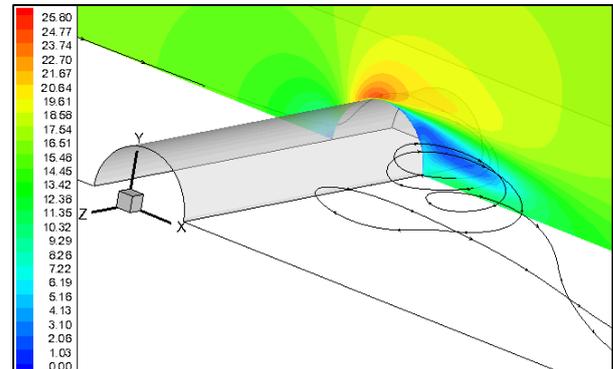
Gambar 6. Pathline kecepatan aliran fluida (m/s) melalui silinder sirkular 3D

Pada gambar 6 ditampilkan *pathline* aliran 3D yang melalui silinder sirkular dengan panjang $8d$ yang ditempatkan pada saluran dengan lebar $12d$. Pola aliran di daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular pada penelitian ini tidak membentuk pasangan vorteks dengan arah aliran tertutup (*close loop*) sebagaimana umumnya vorteks aliran 2D di belakang silinder sirkular. Hal ini disebabkan pada penelitian ini ditetapkan *clearance* antara silinder dan dinding. Pengaruh *tip vortex* yang mengalir melalui ujung silinder terhadap daerah *wake* di belakang silinder sirkular dapat dilihat dengan baik. *Tip vortex* memotong aliran fluida dari arah *upstream* yang telah melewati silinder sirkular. Hal ini menyebabkan terbentuknya *trailing vortex* yang menyeret aliran dari atas dan bawah silinder ke daerah *midspan*. *Trailing vortex* terjadi karena kebocoran aliran sekitar ujung silinder dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah di belakang silinder. Hal ini sebagaimana dapat lebih jelas diamati pada gambar 7.

Visualisasi aliran bidang $x-z$ sejajar *centerline* silinder ditampilkan pada gambar 7. Pada gambar tersebut ditunjukkan pengaruh yang cukup kuat dari *tip vortex* pada daerah *wake* silinder sirkular maupun silinder bersirip. Pada daerah di belakang silinder adalah daerah yang memiliki tekanan rendah dan cenderung konstan. Hal tersebut memungkinkan aliran dari ujung silinder yang membentuk *tip vorteks*, mengalir ke daerah di belakang silinder. Pada daerah *downstream* di dekat ujung silinder tidak terbentuk vorteks akibat adanya pertemuan aliran dari permukaan silinder dan ujung silinder berupa *tip vortex* yang membentuk *trailing vortex* ke arah *midspan*. Hal ini sebagaimana ditampilkan pada gambar 8, *pathline* yang merupakan aliran *trailing vortex* memotong *slice* kontur kecepatan di belakang silinder ditandai dengan daerah berwarna hijau.



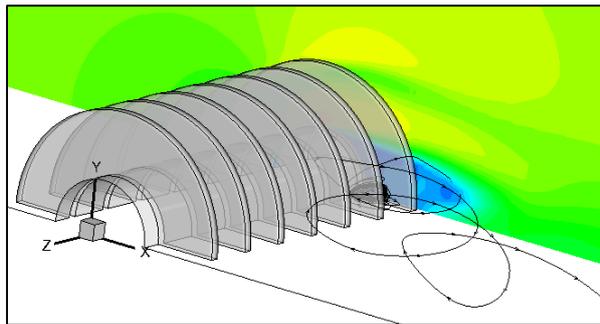
Gambar 7. Pathline dan kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada daerah *midspan* (a) tanpa fin, (b) *fin pitch* 18 mm, (c) *fin pitch* 14 mm, dan (d) *fin pitch* 10 mm



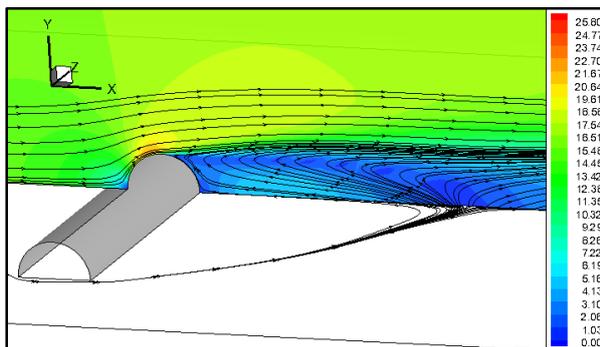
Gambar 8. Pathline aliran 3D dan kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada daerah 20 mm dari ujung silinder yang sejajar *midspan*.

Sedangkan pada silinder bersirip, fin yang dipasang pada silinder menjadikan pola aliran yang terbentuk semakin kompleks, dimana pada setiap celah antar fin terbentuk vorteks yang bermula dari aliran *tip vortex* (lihat gambar 9). Ujung fin di daerah *downstream* memungkinkan aliran dari ujung silinder membentuk vorteks pada setiap celah antar fin. Kecepatan vorteks di pusat adalah nol dan meningkat secara proporsional sesuai jarak dari pusatnya. Vorteks akan terlepas lalu menjadi vorteks bebas dan akhirnya terseret aliran ke arah belakang menjauhi silinder. Pelepasan vorteks akan menimbulkan gaya-gaya berupa gaya *lift* dan gaya *drag* yang bekerja pada silinder secara periodik.

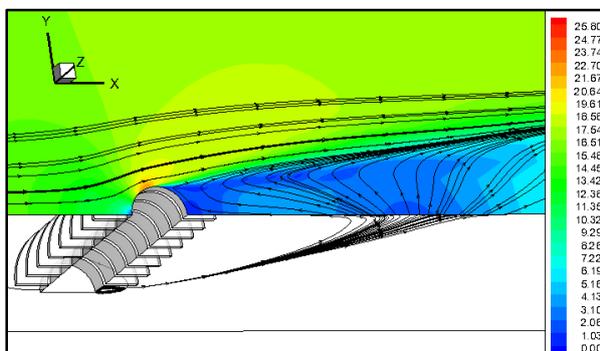
Berdasarkan persamaan 3 dan 5, semakin besar resultan gaya (searah *freestream*) dan selisih tekanan *upstream* dan *downstream* yang bekerja pada permukaan benda, gaya *drag* akan semakin meningkat. Sehingga semakin banyak vorteks yang terbentuk, maka akan menghasilkan *induced drag* yang besar terutama pada silinder bersirip dengan jarak antar fin yang lebih sempit. Silinder bersirip menghasilkan daerah *wake* yang lebih panjang sebelum terjadi *attached flow*.



Gambar 9. Pathline aliran 3D dan kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada daerah 20 mm dari ujung silinder yang sejajar *midspan* (*fin pitch* 10 mm).



Gambar 10. Pathline dan kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada daerah *midspan* silinder sirkular (bidang simetris *x-y*)



Gambar 11. Pathline dan kontur kecepatan aliran fluida (m/s) pada daerah *midspan* (bidang simetris *x-y*) silinder bersirip dengan *fin pitch* 10 mm

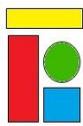
Pada gambar 10 ditampilkan gambar tiga dimensi seperempat bagian silinder sirkular dengan visualisasi aliran pada daerah *midspan* dan bidang simetris *x-z* simulasi numerik. *Separation bubble* terbentuk setelah aliran lepas dari ujung silinder, kemudian terus berlanjut sampai pada daerah *midspan*. Daerah *wake* terus berkembang di belakang silinder hingga pada bidang simetris dengan jarak $4d$ dari sumbu silinder. Arah aliran pada bidang tersebut membentuk *saddle point*, dimana aliran terbagi menjadi *back flow* dan aliran yang terus mengalir ke arah *downstream* (*attached flow*).

Fenomena serupa terjadi pada silinder bersirip sebagaimana ditampilkan pada gambar 11. Akan tetapi luas daerah *wake* yang terbentuk lebih besar dibandingkan daerah *wake* yang terbentuk di belakang silinder sirkular. Hal ini disebabkan oleh separasi di permukaan silinder bersirip yang terbentuk lebih awal dibandingkan separasi yang terjadi di permukaan silinder sirkular. Faktor lain yang mempengaruhi luas daerah *wake* silinder bersirip adalah *tip vortex* akibat fin yang terpasang pada silinder. Panjang fin yang melebar menempati medan aliran menjadikan *separation bubble* terbentuk lebih luas di belakang silinder bersirip. *Attachment saddle* terbentuk pada daerah *wake* bidang simetris dengan jarak $5d$ dari sumbu silinder.

KESIMPULAN

Pengamatan karakteristik drag pada silinder dengan annular fin dengan variasi jarak antar fin telah dilakukan menggunakan metode simulasi numerik. Berdasarkan pembahasan dan analisa data, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Aliran fluida yang melalui silinder yang terdapat *clearance* antara silinder dan dinding tidak terbentuk pasangan vorteks dengan arah aliran tertutup (*close loop*) sebagaimana umumnya vorteks aliran 2D di belakang silinder sirkular. Pengaruh *tip vortex* yang mengalir melalui ujung silinder terhadap daerah *wake* menyebabkan terbentuknya *trailing vortex* yang menyeret aliran dari atas dan bawah silinder ke daerah *midspan*.
2. Terbentuk vorteks pada celah antar fin terutama pada celah antar fin di dekat *clearance* antara silinder bersirip dan dinding.
3. Semakin banyak vorteks yang terbentuk, maka akan menghasilkan *induced drag* yang besar terutama pada silinder bersirip dengan jarak antar fin yang lebih sempit. Silinder bersirip menghasilkan daerah *wake* yang lebih panjang sebelum terjadi *attached flow*.
4. Simulasi numerik dengan pendekatan 3D-*steady flow Reynolds Averaged-Navier Stokes* (RANS) dan RNG *k-ε* cukup baik untuk



mengamati karakteristik aliran di sekitar silinder bersirip.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan (FT UBT) dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dukungan sehingga tulisan ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah bekerjasama hingga tulisan ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munson, B., R., Young, D. F., Okishi, T.H., Huebsch, W. W. (2009). "Fundamentals of Fluid Mechanics", 6th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] Ishima, T., Sasaki, T., Gokan, Y., Takahashi, Y., Obokata, T. (2008), "Flow Characteristics around an Inclined Circular Cylinder with Fin", Proceedings of 14th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, hal. 1-10..
- [3] Pis'mennyi, E.N., Terekh, A.M., Polupan, G.P., Mariscal, I. C., Sanchez, S. F. (2014), "Universal Relations for Calculation of The Drag of Transversely Finned Tube Bundles", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 73, hal. 293-302.
- [4] Widodo, Wawan A., Triyogi, Y., Indiyono, P., Aryawan, Wasid D. (2009), "Pengendalian Aliran Pasif pada Silinder Sirkular Disturbance Body Berbentuk Silinder Elip (AR 1/4)" Jurnal Teknik Mesin, Vol. 11, No. 1, hal 1-11.
- [5] Yoshida, M., Ishihara, S., Murakami, Y., Nakashima, K., Yamamoto, M. (2006), "Air-Cooling Effects on a Motorcycle Engine", JSME International Journal, Vol. 49, No.3, hal. 869-875.
- [6] Khashehchi, K., Abdi, I. A., Hooman, K., Roesgen, T. (2014), "A Comparison between The Wake behind Finned and Foamed Circular Cylinders in Cross-Flow", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 52, hal. 328-338.
- [7] Ladjedel, A.O., Yahiaoui, B.T., Adjlout, C.L., Imine, D.O. (2011), "Experimental and Numerical Studies of Drag Reduction on a Circular Cylinder" World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 15, No. 5, Hal. 339-343.