

Simulasi Numerik Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular dengan Plat *Splitter* Dekat Dinding Miring

Varien Janitra Nuralif Susanto dan Wawan Aries Widodo
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) 60111 Indonesia
e-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak—Analisis struktural adalah salah satu pekerjaan yang dilakukan dalam proses rekayasa teknik. Interaksi fluida dengan struktur merupakan salah satu pokok analisis dalam analisis struktural. Salah satu contoh kasus interaksi fluida dengan struktur adalah aliran melintasi silinder sirkular. Pipa merupakan elemen silinder sirkular yang sering ditemui di industri. Industri perminyakan *offshore* umumnya meletakkan pipa dekat dengan dasar laut yang menghasilkan karakteristik aliran tertentu. Karakteristik yang dipengaruhi oleh peletakan tersebut adalah distribusi tekanan. Distribusi tekanan yang berbeda turut menghasilkan gaya yang berbeda, sehingga membutuhkan perlakuan khusus saat instalasi. Karakteristik lainnya adalah *vortex shedding*. Studi terdahulu menyatakan bahwa pemasangan plat *splitter* dengan panjang tertentu akan meredam *vortex shedding* dan mengurangi gaya *drag*. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik dua dimensi dengan pemodelan turbulensi SST k- ω . Aliran diasumsikan *steady* dan *incompressible* dan mengalir pada bilangan Reynolds 5×10^4 . Domain simulasi yang digunakan berupa silinder sirkular dengan plat *splitter* yang diletakkan dinding dengan kemiringan tertentu pada besar celah tertentu. Variasi pada penelitian ini adalah kemiringan dinding α [0° , 10° , 20°] dan rasio besar celah dengan diameter silinder sirkular G/D [0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5]. Hasil yang didapatkan dari simulasi numerik ini adalah bahwa peningkatan G/D dan α pada umumnya akan menurunkan C_{Dp} dan C_{Lp} . Pada variasi besar celah dan $\alpha = 0^\circ$ didapati C_{Dp} maksimum pada G/D 0,2, sedangkan C_{Lp} menurun secara konsisten. Pada $\alpha = 10^\circ$ didapati C_{Dp} maksimum dan C_{Lp} minimum pada G/D 0,2. Pada $\alpha = 20^\circ$ didapati C_{Dp} meningkat secara konsisten pada $G/D > 0,2$ dan C_{Lp} minimum pada G/D 0,4. Pada variasi kemiringan dinding dan $G/D < 0,3$ didapati C_{Lp} memiliki nilai minimum pada $\alpha = 10^\circ$, namun C_{Dp} menurun secara konsisten. Karakteristik aliran di atas sangat dipengaruhi oleh fenomena *blockage* dan *adverse pressure gradient*.

Kata Kunci—Dinding, *Drag*, Koefisien Tekanan, *Lift*, Silinder Sirkular, *Splitter*.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN negara Indonesia memiliki hubungan yang erat dengan rekayasa teknik. Salah satu rekayasa teknik yang dilakukan dalam melakukan pembangunan adalah analisis struktural. Interaksi antara fluida dengan struktur merupakan salah satu pokok analisis yang dilakukan pada suatu struktur. Salah satu kasus interaksi fluida dengan struktur adalah aliran yang melintasi silinder sirkular. Contoh aplikasi interaksi fluida dengan struktur berbentuk silinder sirkular pada industri adalah instalasi pipa yang terbenam didalam laut. Instalasi pipa yang terbenam didalam laut adalah hal yang umum ditemukan pada industri perminyakan lepas pantai.

Posisi instalasi pipa yang terbenam didalam laut pada umumnya diletakkan dekat dengan dasar laut. Posisi peletakan pipa yang dekat dengan dasar laut ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik aliran yang melintasi pipa. Karakteristik aliran tersebut telah dipelajari oleh [1] dengan melakukan eksperimen pada silinder sirkular yang diletakkan dekat dinding dengan menggunakan wind tunnel. Eksperimen ini dilakukan pada bilangan Reynolds $2,5 \times 10^4$ dan $4,8 \times 10^4$ yang didasarkan pada diameter silinder. Variasi eksperimen dilakukan pada rasio G/D yang merupakan rasio antara besar celah dengan diameter silinder sirkular. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini melalui analisis spektral menunjukkan bahwa fenomena *vortex shedding* pada silinder sirkular terjadi dengan bilangan Strouhal yang konstan untuk $G/D \geq 0,3$. *Vortex shedding* yang terjadi akan teredam apabila silinder sirkular didekatkan dengan dinding ($G/D < 0,3$). Hasil eksperimen lain yang didapatkan melalui pengamatan distribusi tekanan menunjukkan bahwa terdapat pembentukan *wake* pada sisi *upstream* dan *downstream* dinding. *Wake* tersebut akan melekat pada silinder sirkular saat rasio $G/D = 0$. Peningkatan G/D akan menghasilkan distribusi tekanan yang lebih simetris. Distribusi tekanan hampir simetris sempurna saat G/D mencapai nilai 0,4. Pada G/D yang rendah titik separasi di sisi bawah silinder sirkular bergeser menuju *trailing edge* akibat adanya gradien tekanan yang *favourable*.

Penelitian oleh [1] menunjukkan bahwa terdapat fenomena *vortex shedding* pada silinder sirkular yang diletakkan dekat dinding. *Vortex shedding* memberikan beban dinamis pada silinder sirkular, sehingga peluang kegagalan struktur menjadi semakin besar. Masalah tersebut dapat dihindari dengan memasang plat pada sisi *upstream* dan *downstream* silinder sirkular. Penelitian [2] mempelajari peredaman *vortex shedding* pada silinder sirkular melalui eksperimen pada silinder sirkular dengan pemasangan plat frontal, *wake* atau *splitter*, dan bilateral. Eksperimen tersebut dilakukan dalam *wind tunnel* pada bilangan Reynolds yang divariasikan pada rentang $6,90 \times 10^4$ hingga $8,28 \times 10^5$. Hasil yang didapatkan dari eksperimen oleh [2] adalah penambahan plat frontal dengan rasio $L/D = 3$ (rasio panjang plat terhadap diameter silinder sirkular) menghasilkan aliran *post-critical* pada bilangan Reynolds yang relatif rendah. Aliran *post-critical* tersebut timbul akibat adanya gangguan pada aliran *upstream*. Hasil yang didapatkan dari silinder sirkular dengan pemasangan plat bilateral pada kondisi yang serupa adalah *vortex shedding* pada silinder sirkular teredam oleh plat *splitter* dengan $L/D = 3$. *Shear layer* yang terseparasi pada silinder sirkular dengan plat bilateral mengalami transisi pada rentang bilangan Reynolds $6,90 \times 10^4$ hingga $1,66 \times 10^5$. Transisi *shear layer* tersebut mengakibatkan fluktuasi pada

distribusi tekanan. Rata-rata dan fluktuasi distribusi tekanan menjadi relatif lebih stabil ketika bilangan Reynolds lebih besar dari $1,66 \times 10^5$.

Penelitian pengaruh pemasangan plat *splitter* pada silinder sirkular yang lain dilakukan oleh [3]. Penelitian [3] melakukan eksperimen pada silinder sirkular dengan pemasangan plat *splitter* pada sisi *downstream*. Plat *splitter* yang digunakan pada eksperimen ini dapat berputar secara bebas terhadap sumbu silinder dan divariasikan pada L/D 0,5 hingga 6,0. Eksperimen dilakukan pada rentang bilangan Reynolds 3×10^4 hingga 6×10^4 . Hasil yang didapatkan dari eksperimen menunjukkan bahwa plat *splitter* yang bebas bergerak memiliki deviasi sudut δ terhadap sumbu horizontal. Deviasi tersebut disebabkan oleh perbedaan tekanan pada kedua sisi plat *splitter*. Posisi deviasi plat *splitter* tidak menunjukkan kecenderungan untuk berada pada sisi atas maupun sisi bawah silinder. Rasio L/D memiliki pengaruh yang signifikan pada sudut deviasi plat *splitter*. Plat *splitter* yang lebih panjang akan menghasilkan sudut deviasi yang lebih kecil. Pada $L/D \geq 4$ sudut δ menjadi 0, sehingga plat *splitter* paralel terhadap sumbu horizontal. Dapat disimpulkan bahwa *vortex shedding* teredam dengan menggunakan plat *splitter* dengan $L/D \geq 4$. Penambahan plat *splitter* juga menghasilkan reduksi koefisien drag rata-rata hingga 30% dan reduksi *root-mean-square* koefisien lift fluktuatif sebesar 90%. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa plat *splitter* yang bebas bergerak memperpanjang daerah pembentukan *vortex* dan mencegah interaksi antara *shear layer* pada kedua sisi silinder.

Pada penelitian yang sama, [4] melakukan simulasi numerik aliran pada silinder sirkular dengan plat *splitter* dekat dinding yang bergerak. Pemodelan aliran turbulen yang digunakan pada simulasi ini adalah model *large-eddy based lattice boltzmann*. Variasi yang dilakukan pada simulasi ini adalah G/D antara 0,1 hingga 3,0. Simulasi dilakukan pada bilangan Reynolds pada rentang 200 hingga 400. Hasil yang didapatkan dari simulasi adalah *vortex shedding* pada sisi bawah silinder sirkular teredam saat $G/D \leq 0,2$. Rasio G/D yang menurun mengakibatkan peningkatan frekuensi *vortex shedding* hingga suatu nilai maksimum, kemudian menurun secara kontinyu. Koefisien *drag* dan *lift* yang didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan silinder sirkular tanpa plat *splitter*. Hasil simulasi numerik oleh [4] telah sesuai dengan eksperimen dan simulasi sebelumnya.

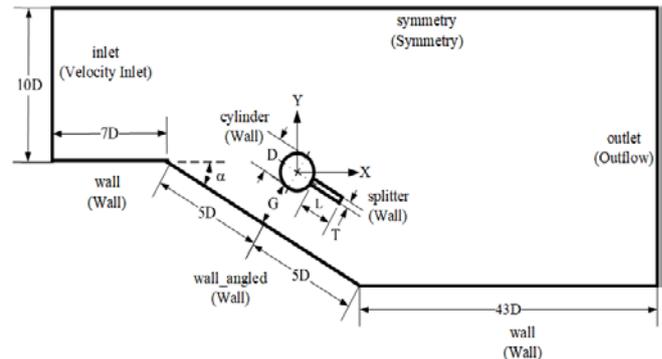
Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut, maka permasalahan dari penelitian ini adalah analisis karakteristik aliran yang melintasi silinder sirkular dengan plat *splitter* dekat dinding miring menggunakan simulasi numerik. Variasi yang dilakukan adalah kemiringan dinding dari sudut 0° , 10° , dan 20° dengan rasio G/D dari 0,1 hingga 0,5. Selain karakteristik aliran, permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana distribusi dari koefisien tekanan (C_p) pada silinder sirkular dengan plat *splitter* dan pada dinding miring. Selain distribusi koefisien-koefisien gaya, nilai koefisien *drag* tekanan (C_{Dp}) dan koefisien *lift* tekanan (C_{Lp}) dari silinder sirkular dengan plat *splitter* turut menjadi permasalahan pada penelitian ini.

II. URAIAN PENELITIAN

Analisis karakteristik aliran pada silinder sirkular dengan plat *splitter* dilakukan dengan melakukan pemodelan domain simulasi seperti pada gambar 1 dibawah berikut. Domain simulasi terdiri dari silinder sirkular dengan diameter sebesar

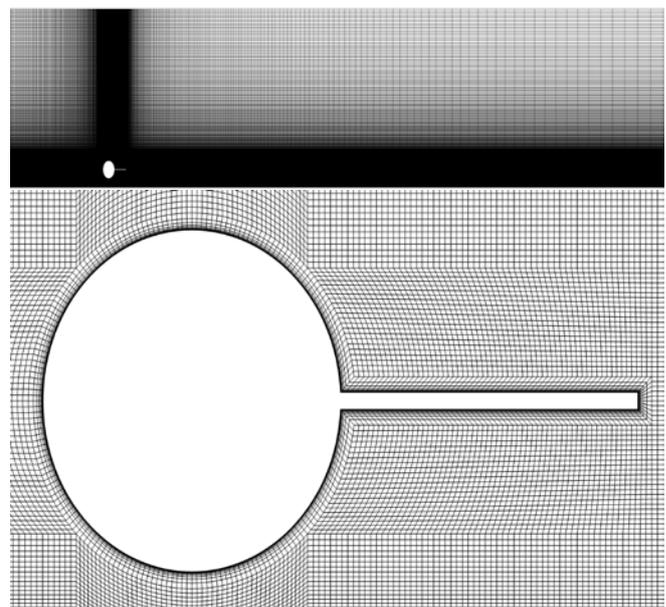
D yang dipasangkan plat *splitter* dengan panjang L dan tebal T pada sisi *wake*. Silinder sirkular tersebut diletakkan dekat dengan dinding yang memiliki kemiringan α terhadap bidang horizontal. Variasi yang dilakukan pada geometri adalah besar celah (G) dan kemiringan dinding (α). Nilai-nilai variabel geometri yang telah dituliskan diatas adalah $D = 40$ mm, $L = D$, dan $T = 0,05 D$.

Domain pada gambar 1 akan dilakukan proses *meshing* seperti gambar 2. Jenis *meshing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *two-dimensional quadrilateral structured mesh*. Pemilihan jenis *mesh* tersebut ditujukan untuk mendapatkan akurasi hasil simulasi dan konvergensi simulasi yang baik. *Mesh* tersebut akan diproses oleh ANSYS Fluent 19.0 *Student Version* untuk melakukan proses simulasi numerik. Pembuatan *mesh* diulangi untuk tiap variasi.



Gambar 1. Domain simulasi dari karakteristik aliran melintasi silinder sirkular dengan plat *splitter* dekat dinding miring

Pemodelan fenomena fisis yang dipilih pada penelitian ini adalah *pressure-based solver*, *steady flow*, dan *Shear Stress Transport k- ω turbulence modeling*. Pemilihan pemodelan turbulen *Shear Stress Transport k- ω* dipilih berdasarkan literatur [5] yang menyatakan bahwa pemodelan turbulensi *Shear Stress Transport k- ω* memberikan performa yang terbaik untuk kasus simulasi pada umumnya dan kasus aliran eksternal seperti *adverse pressure gradient* dan *free shear layer*. Pemodelan turbulensi *Shear Stress Transport k- ω* juga memiliki performa baik dalam menganalisis aliran yang dekat dengan dinding.



Gambar 2. *Meshing* dari domain (atas) dan silinder sirkular dan plat *splitter* (bawah)

Fluida kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dengan temperatur 300 K pada tekanan atmosfer.

Properti udara didapatkan dari literatur [6]. Nilai-nilai yang dimasukkan pada *boundary condition* didasarkan pada literatur yang telah ada. Bilangan Reynolds yang digunakan pada penelitian ini adalah 5×10^4 berdasarkan literatur [3] dan [7]. Data-data yang diperlukan untuk melakukan pemodelan turbulensi pada sisi *inlet* adalah intensitas turbulensi diketahui dari [3] sebesar 0,1% dan *length scale* sebesar 0,00443 m. Nilai *length scale* didapatkan dari persamaan (1) berikut:

$$l = 0,4 \delta_{99} = 0,4 \left(\frac{0,382 Re^{4/5} \mu}{\rho V} \right) \quad (1)$$

Dengan mengasumsikan bahwa aliran pada *inlet* telah melintasi plat datar dan berada pada kondisi tepat transisi menuju turbulen. Persamaan diatas didapatkan dari [8].

Grid independency test dilakukan mulai dari mesh yang renggang (*coarse*), menengah (*medium*), rapat (*fine*), dan sangat rapat (*very fine*). Nilai yang dibandingkan pada *grid independency test* adalah koefisien *drag* tekanan dari silinder. Pengamatan pada dan tabel 1 menunjukkan bahwa nilai C_{Dp} tidak berubah signifikan pada tingkat kerapatan *mesh* 295 ribu dan 360 ribu *nodes*. Kesimpulan tersebut didukung oleh kesalahan relatif yang cukup rendah yaitu 0,054%. Berdasarkan pengamatan tersebut, maka tingkat kerapatan *mesh* yang digunakan pada penelitian ini adalah kerapatan *mesh* dengan jumlah *nodes* 295 ribu.

Tabel 1.
Perbandingan nilai C_{Dp} pada proses *Grid Independency Test*

Jumlah Nodes	Y^+	C_{Dp}	Kesalahan Relatif (%)
185 ribu	0,495	0,8675	-
235 ribu	0,330	0,8690	0,169
295 ribu	0,330	0,8698	0,094
360 ribu	0,165	0,8693	0,054

A. Persamaan-persamaan yang Digunakan

Persamaan-persamaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Bilangan Reynolds, Koefisien Tekanan, Koefisien *Drag* dan *Lift* Tekanan, dan Integrasi Komposit *Simpson's Rule*.

Bilangan Reynolds terdiri dari densitas ρ , kecepatan *freestream* V_∞ , diameter silinder sirkular D , dan viskositas absolut μ .

$$Re = \frac{\rho V_\infty D}{\mu} \quad (2)$$

Koefisien tekanan merupakan rasio antara gaya tekanan yang terjadi pada suatu bodi dengan gaya inersia fluida. Koefisien tekanan terdiri dari tekanan kontur p , tekanan *freestream* p_∞ , densitas ρ , dan kecepatan *freestream* V_∞ .

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} \quad (3)$$

Koefisien *drag* tekanan merupakan integrasi dari koefisien tekanan. Koefisien ini menunjukkan gaya *drag* pada bodi yang dihasilkan dari tekanan. Koefisien ini terdiri dari C_p kontur dan sudut posisi kontur θ . Gaya *drag* memiliki arah sejajar dengan sumbu x pada Gambar 3.

$$C_{Dp} = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p \cos \theta d\theta \quad (4)$$

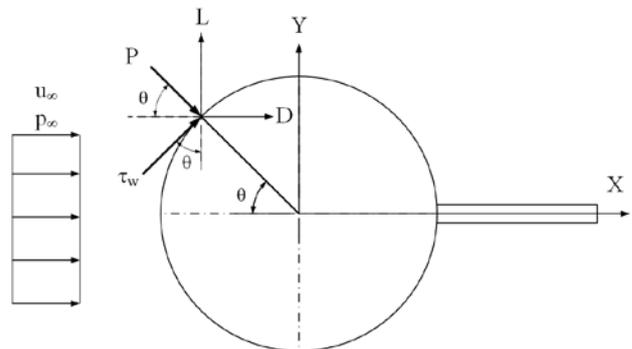
Koefisien *lift* tekanan merupakan integrasi dari koefisien tekanan. Koefisien ini menunjukkan gaya *lift* pada bodi yang dihasilkan dari tekanan. Koefisien ini terdiri dari C_p kontur dan sudut posisi kontur θ . Gaya *lift* memiliki arah sejajar dengan sumbu y pada Gambar 3.

$$C_{Lp} = -\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p \sin \theta d\theta \quad (5)$$

Evaluasi nilai integral dari koefisien *drag* dan *lift* didapatkan dengan menggunakan integrasi komposit *Simpson's Rule*. Rumus *Simpson's Rule* terdiri dari batas atas data b, batas atas data a, jumlah data n, data ke i x_i , index i dan j:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{3n} \left[f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5,\dots}^{i=1,3,5,\dots} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6,\dots}^{j=2,4,6,\dots} f(x_j) + f(x_n) \right] \quad (6)$$

Persamaan (2) hingga (5) diatas mengacu pada gambar 3 berikut:

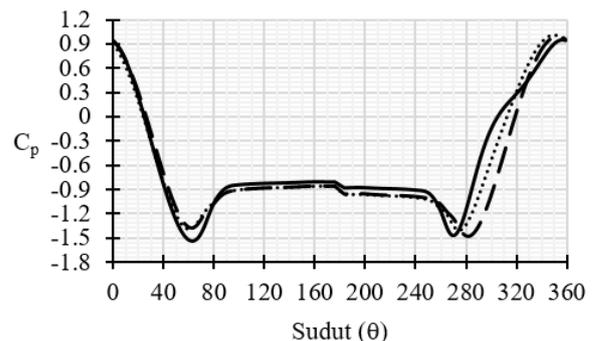


Gambar 3. Diagram acuan untuk penurunan persamaan

III. HASIL SIMULASI NUMERIK

A. Pengaruh G/D Terhadap Karakteristik Aliran pada Variasi $\alpha = 0^\circ$

Pengamatan secara sekilas pada gambar 4 menunjukkan bahwa pada G/D 0,1 C_p memiliki distribusi yang tampak berbeda apabila dibandingkan dengan G/D yang lain. Pengamatan yang lebih detail menunjukkan bahwa distribusi C_p sisi atas (sudut $0^\circ-180^\circ$) silinder sirkular dengan G/D 0,1 memiliki C_p minimum yang lebih rendah dari G/D lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada G/D 0,1 aliran mengalami percepatan yang lebih tinggi dibandingkan pada G/D lainnya. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada G/D 0,1 aliran pada sisi atas juga mengalami perlambatan yang lebih tinggi dibandingkan G/D lainnya. Perlambatan yang lebih tinggi tersebut menghasilkan rata-rata tekanan sisi atas-belakang (sudut $90^\circ-180^\circ$) yang lebih tinggi dibandingkan G/D lainnya. Untuk $G/D \geq 0,2$, distribusi C_p sisi atas tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



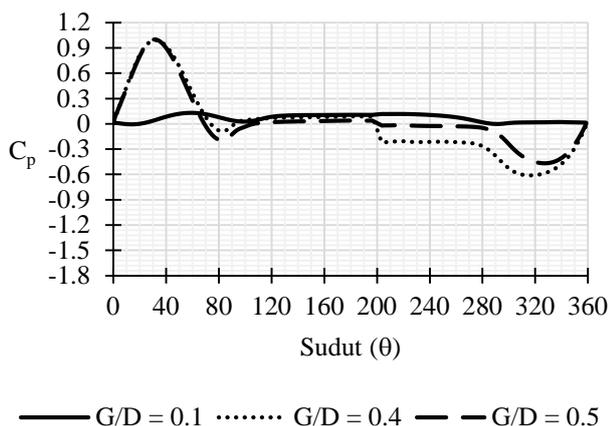
Gambar 4. Distribusi C_p Silinder Sirkular tiap G/D pada Variasi $\alpha = 0^\circ$

Pengamatan pada distribusi C_p sisi bawah (sudut 180° – 360°) silinder sirkular menunjukkan bahwa pada G/D 0,1 C_p maksimum memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan G/D lainnya. C_p maksimum akan meningkat dan bergeser menuju *trailing edge* saat G/D ditingkatkan menuju 0,2. Posisi C_p maksimum akan bergeser menuju *trailing edge*, namun nilainya tidak berubah secara signifikan saat G/D ditingkatkan lebih lanjut. Pengamatan pada C_p minimum menunjukkan bahwa C_p minimum akan meningkat saat G/D ditingkatkan menuju 0,2 dan kembali menurun saat G/D ditingkatkan lebih lanjut. Posisi C_p minimum bergeser menuju *leading edge* secara konsisten apabila G/D ditingkatkan.

Pengamatan lain menunjukkan bahwa pada G/D 0,1 aliran mengalami percepatan yang lebih rendah secara signifikan pada sisi bawah-depan (sudut 270° – 360°) dibandingkan dengan G/D lainnya. Percepatan tersebut akan semakin tinggi saat G/D ditingkatkan. Hal ini ditunjukkan dengan mengamati C_p pada satu titik sudut, dimana C_p menurun secara konsisten saat G/D ditingkatkan. Selain itu, aliran juga mengalami perlambatan yang lebih tinggi pada G/D 0,1 dibandingkan dengan rasio G/D lainnya. Perlambatan ini menghasilkan rata-rata tekanan sisi bawah-belakang (sudut 180° – 270°) yang lebih tinggi dari rasio G/D lainnya. Perlambatan tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan pada $G/D \geq 0,2$.

B. Pengaruh G/D Terhadap Karakteristik Aliran pada Variasi $\alpha = 10^\circ$

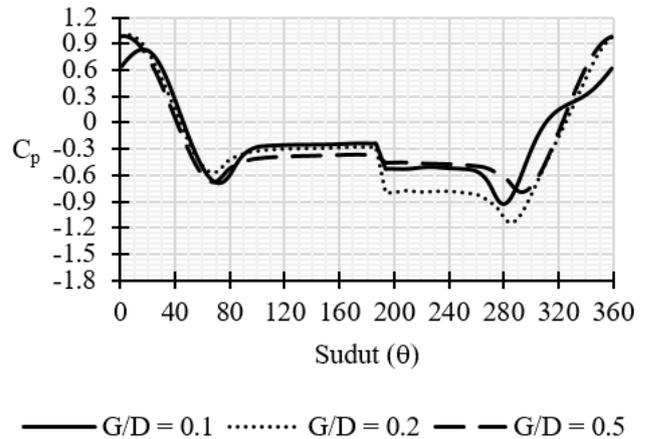
Pengamatan secara sekilas pada Gambar 5 menunjukkan bahwa tiap G/D memiliki distribusi C_p yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pengamatan yang lebih detail pada distribusi C_p sisi atas silinder sirkular menunjukkan bahwa C_p maksimum pada G/D 0,1 lebih rendah dari G/D lainnya. C_p maksimum yang rendah ini disebabkan oleh titik stagnasi yang berada pada daerah *boundary layer* sehingga terjadi *viscous dissipation* yang menghilangkan energi dari aliran. C_p



Gambar. 6. Distribusi C_p Silinder Sirkular tiap G/D pada Variasi $\alpha = 20^\circ$

maksimum tersebut meningkat dan bergeser menuju *leading edge* saat G/D ditingkatkan menuju 0,2. Peningkatan G/D lebih lanjut hanya menggeser C_p maksimum menuju *leading edge*. Pengamatan pada C_p minimum menunjukkan bahwa C_p minimum pada G/D 0,1 lebih rendah dari G/D lainnya. Apabila G/D ditingkatkan menjadi 0,2, maka C_p minimum akan meningkat. Walaupun C_p minimum pada G/D 0,2 lebih tinggi, namun perlambatan aliran pada G/D 0,1 lebih besar dibandingkan G/D 0,2. Hal ini menghasilkan rata-rata

tekanan sisi atas-belakang yang lebih besar. C_p minimum dan rata-rata tekanan sisi atas-belakang menurun apabila G/D ditingkatkan.

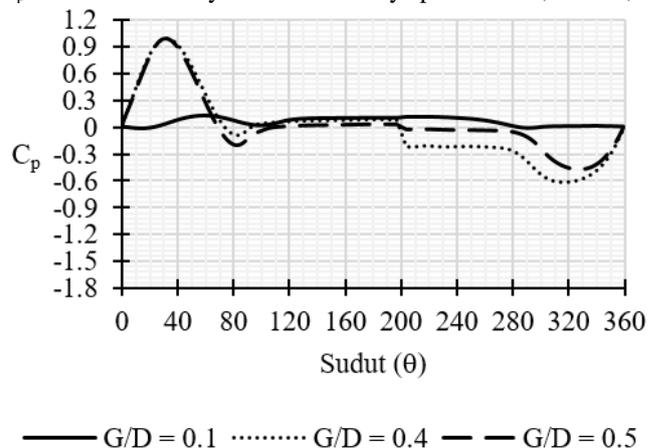


Gambar 5. Distribusi C_p Silinder Sirkular tiap G/D pada Variasi $\alpha = 10^\circ$

Pengamatan pada distribusi C_p sisi bawah silinder sirkular menunjukkan bahwa C_p maksimum pada G/D 0,1 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan G/D lainnya. C_p maksimum meningkat dan posisinya bergeser menuju *leading edge* saat G/D ditingkatkan. Peningkatan G/D lebih lanjut hanya menggeser posisi C_p maksimum menuju *leading edge*. Pengamatan lain pada C_p minimum menunjukkan bahwa C_p minimum pada G/D 0,1 memiliki nilai yang relatif lebih rendah dibandingkan G/D lainnya. Apabila G/D ditingkatkan menuju 0,2, maka C_p minimum menurun secara signifikan menjadi lebih rendah dari G/D lainnya. Hal ini menghasilkan rata-rata tekanan sisi bawah-belakang yang lebih rendah dari G/D lainnya walaupun perlambatan pada G/D 0,1 lebih tinggi. Peningkatan G/D lebih lanjut akan meningkatkan C_p minimum dan rata-rata tekanan bawah-belakang.

C. Pengaruh G/D Terhadap Karakteristik Aliran pada Variasi $\alpha = 20^\circ$

Pengamatan secara sekilas pada Gambar 6 menunjukkan bahwa G/D 0,1 memiliki distribusi C_p yang berbeda dengan G/D lainnya. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa rata-rata C_p pada $G/D \leq 0,3$ mendekati 0, sehingga pembahasan distribusi C_p secara detail hanya dilakukan hanya pada G/D 0,4 dan 0,5.



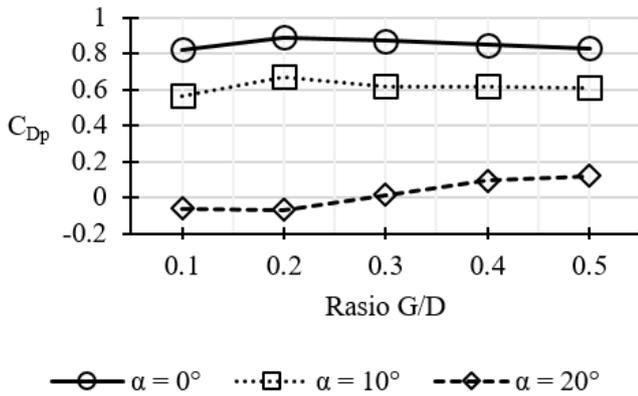
Gambar 6. Distribusi C_p Silinder Sirkular tiap G/D pada Variasi $\alpha = 20^\circ$

Pengamatan secara detail pada distribusi C_p sisi atas silinder sirkular menunjukkan bahwa C_p maksimum pada G/D 0,4 dan 0,5 memiliki nilai dan posisi yang kurang lebih sama. Namun pengamatan pada C_p minimum menunjukkan bahwa C_p minimum pada G/D 0,4 lebih tinggi dibandingkan

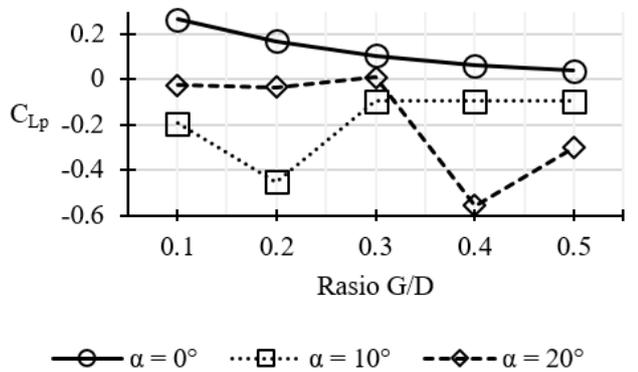
G/D 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa pada G/D 0,5 terjadi percepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan G/D 0,4. Percepatan aliran yang lebih tinggi tersebut menghasilkan rata-rata tekanan sisi atas-belakang yang lebih rendah. Pengamatan lain pada distribusi C_p sisi bawah menunjukkan bahwa C_p minimum pada G/D 0,4 lebih rendah dari G/D 0,5. Peningkatan G/D menghasilkan peningkatan C_p minimum dan menggeser posisinya menuju *leading edge*.

D. Koefisien Drag dan Lift Tekanan

Koefisien *drag* dan *lift* didapatkan dari hasil integrasi dari koefisien tekanan silinder sirkular pada gambar 4 hingga 6 diatas. Sehingga didapatkan grafik pada Gambar 7 dan 8. Didapatkan bahwa nilai C_{Dp} menurun secara konsisten apabila α ditingkatkan. Berbeda dari C_{Dp} , C_{Lp} memiliki nilai minimum pada $\alpha = 10^\circ$ untuk $G/D \leq 0,3$ dan menurun apabila $G/D > 0,3$. Hal ini dikarenakan pada $G/D \leq 0,3$ silinder sirkular berada pada daerah resirkulasi, sehingga nilai C_{Lp} pada $\alpha = 10^\circ$ lebih rendah akibat selisih tekanan yang lebih besar.

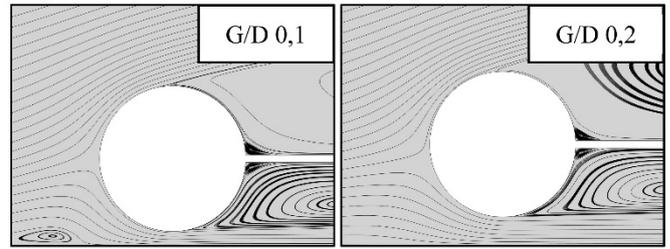


Gambar 7. Nilai C_{Dp} tiap G/D pada berbagai variasi α



Gambar 8. Nilai C_{Lp} tiap G/D pada berbagai variasi α

Perilaku C_{Dp} dan C_{Lp} pada $\alpha = 0^\circ$ disebabkan oleh adanya fenomena *blockage* pada aliran. *Blockage* adalah fenomena aliran yang terhambat akibat adanya peningkatan tekanan yang dihasilkan dari pelebaran *streamtube*. *Blockage* ditunjukkan oleh adanya *wake* pada *upstream* silinder sirkular pada Gambar 9. *Blockage* memengaruhi C_{Dp} dengan menurunkan tekanan pada sisi bawah-depan silinder sirkular.

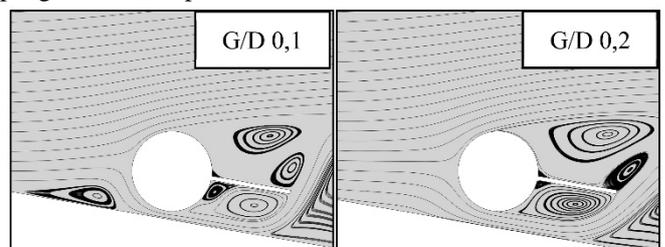


Gambar 9. Streamline pada $\alpha = 0^\circ$

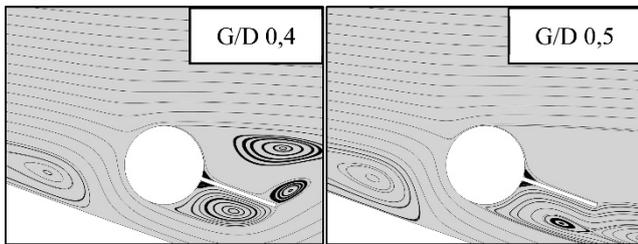
Selain *blockage*, nilai C_p maksimum silinder sirkular yang kurang dari 1 pada G/D 0,1 menunjukkan silinder sirkular yang sudah berada didalam *boundary layer* dari dinding. C_p maksimum yang kurang dari 1 tersebut disebabkan oleh adanya *viscous dissipation* pada aliran, sehingga energi aliran berkurang dan menurunkan tekanan stagnasi. Hal tersebut berdampak ke C_{Dp} silinder sirkular. Saat G/D ditingkatkan menuju 0,2 maka pengaruh *blockage* akan menurun, sehingga tekanan pada sisi bawah-depan meningkat dan meningkatkan C_{Dp} . Peningkatan G/D lebih lanjut akan menurunkan C_{Dp} akibat distribusi tekanan sisi atas dan bawah yang menjadi lebih simetris. Simetri dari distribusi tekanan tersebut akan menurunkan C_{Lp} .

Perilaku C_{Dp} dan C_{Lp} pada $\alpha = 10^\circ$ memiliki kesamaan dengan $\alpha = 0^\circ$. Peningkatan C_{Dp} pada G/D 0,2 disebabkan oleh pengaruh *blockage* yang berkurang. Nilai C_{Dp} yang lebih rendah dari $\alpha = 0^\circ$ disebabkan oleh momentum aliran *upstream* yang hilang akibat *adverse pressure gradient* dari dinding, sehingga tekanan stagnasi turut berkurang. Peningkatan G/D menuju 0,3 akan menghasilkan C_{Dp} yang konstan. Hal tersebut menunjukkan pengaruh dinding yang berkurang. Sedangkan penurunan C_{Lp} pada G/D 0,2 disebabkan oleh percepatan aliran sisi bawah yang tinggi pada G/D 0,2 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 10, sehingga tekanan sisi bawah jauh lebih rendah dari sisi atas. Percepatan aliran sisi bawah tersebut menurun saat G/D ditingkatkan menuju 0,3 sehingga C_{Lp} akan menurun.

Perilaku C_{Dp} dan C_{Lp} pada $\alpha = 20^\circ$ pada $G/D \geq 0,4$ sama dengan $\alpha = 10^\circ$ pada $G/D \geq 0,2$ seperti yang terlihat di gambar 7 dan 8. Hal tersebut disebabkan oleh adanya akselerasi aliran yang tinggi pada G/D tertentu. Untuk $\alpha = 10^\circ$ akselerasi aliran tertinggi terjadi pada G/D 0,2 dan untuk $\alpha = 20^\circ$ pada G/D 0,4 pada gambar 11. Untuk $G/D < 0,4$ perilaku aliran disebabkan oleh silinder sirkular yang berada pada daerah resirkulasi dinding. Nilai C_{Dp} dan C_{Lp} yang masih berubah pada $G/D > 0,4$ menunjukkan bahwa dinding masih memiliki pengaruh terhadap aliran.



Gambar 10. Streamline pada $\alpha = 10^\circ$

Gambar. 11. Streamline pada $\alpha = 20^\circ$

IV. KESIMPULAN

- 1) Pada $\alpha = 0^\circ$, C_{Dp} maksimum terletak pada G/D 0,2, peningkatan G/D akan menghasilkan penurunan C_{Dp} secara konsisten. Sedangkan C_{Lp} menurun secara konsisten apabila G/D ditingkatkan.
- 2) Pada $\alpha = 10^\circ$, C_{Dp} maksimum terletak pada G/D 0,2. Peningkatan G/D menuju 0,3 akan menurunkan C_{Dp} . Peningkatan $G/D > 0,3$ akan menghasilkan C_{Dp} yang konstan. Sedangkan C_{Lp} memiliki nilai negatif pada seluruh G/D dan nilai C_{Lp} minimum terdapat pada G/D 0,2. Peningkatan G/D menuju 0,3 akan meningkatkan C_{Lp} . Peningkatan $G/D > 0,3$ menghasilkan C_{Lp} yang konstan.
- 3) Pada $\alpha = 20^\circ$, C_{Dp} konstan dan memiliki nilai negatif pada $G/D \leq 0,2$. Pembesaran $G/D \geq 0,3$ menghasilkan C_{Dp} yang meningkat secara konsisten dan bernilai positif. Sedangkan C_{Lp} memiliki nilai yang konstan pada $G/D < 0,3$. Peningkatan G/D menuju 0,4 akan menurunkan C_{Lp} menuju minimum. Peningkatan G/D menuju 0,5 meningkatkan C_{Lp} .
- 4) Peningkatan α akan menurunkan C_{Dp} secara konsisten, sedangkan C_{Lp} memiliki nilai minimum pada $\alpha = 10^\circ$

untuk $G/D \leq 0,3$. Apabila G/D ditingkatkan menuju $G/D > 0,3$ maka C_{Lp} menurun secara konsisten saat α ditingkatkan.

- 5) *Blockage* membelokkan sebagian besar massa aliran menuju sisi atas dan menciptakan perbedaan tekanan antara sisi atas dengan sisi bawah-depan.
- 6) *Adverse pressure gradient* menurunkan momentum aliran *upstream* sehingga menghasilkan tekanan stagnasi maksimum yang lebih rendah dan meningkatkan rata-rata tekanan pada sisi bawah-belakang silinder sirkular.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. W. Bearman and M. M. Zdravkovich, "Flow around a circular cylinder near a plane boundary," *J. Fluid Mech.*, vol. 89, no. 1, pp. 33–47, Nov. 1978.
- [2] Y. Qiu, Y. Sun, Y. Wu, and Y. Tamura, "Effects of splitter plates and Reynolds number on the aerodynamic loads acting on a circular cylinder," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 127, pp. 40–50, Apr. 2014.
- [3] F. Gu, J. S. Wang, X. Q. Qiao, and Z. Huang, "Pressure distribution, fluctuating forces and vortex shedding behavior of circular cylinder with rotatable splitter plates," *J. Fluids Struct.*, vol. 28, pp. 263–278, Jan. 2012.
- [4] H. Zhang and W. Shi, "Numerical simulation of flow over a circular cylinder with a splitter plate near a moving wall," *Ocean Eng.*, vol. 122, pp. 162–171, Aug. 2016.
- [5] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Harlow, Essex : Pearson Education Ltd, 2007.
- [6] T. L. Bergman and F. P. Incropera, *Fundamentals of heat and mass transfer.*, 7 ed. New Jersey: Wiley, 2011.
- [7] W. A. Widodo, "Pemodelan numerik aliran melintasi dua silinder sirkulasi tersusun tandem dengan pengaruh side wall dengan jarak gap ($G/D = 0.2$)," in *Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 16*, 2010.
- [8] R. W. Fox, P. J. Pritchard, and A. T. McDonald, *Fox and McDonald's introduction to fluid mechanics.*, 8th ed. / Hoboken NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2011.