

Kajian Numerik Kinerja VIV Suppression Devices Berjenis Helical Rods Bergap Padakasus Angka Reynolds Besar

Erwina R. Ilma⁽¹⁾, Rudi Walujo Prastianto⁽²⁾, Wisnu Wardhana⁽³⁾, Eko Budi Djatmiko⁽⁴⁾

Program Pascasarjana Teknologi Kelautan (PPsTK)^{(1),(2),(3),(4)}

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email : erwina.r_ilma@yahoo.com⁽¹⁾

Abstrak

Penelitian terhadap inovasi jenis-jenis piranti untuk mengurangi (*suppression devices*) beban fluida dan getaran pada struktur akibat timbulnya vorteks masih terus dilakukan. Makalah ini membahas salah satu jenis *suppression device* alternatif berupa *rods* yang dipasang melilit pada silinder secara heliks dengan *gap* tertentu. Pengaplikasiannya bisa pada *deepwater riser*, sebagai silinder kecil dan Spar, sebagai silinder besar. Spar merupakan jenis bangunan lepas pantai untuk perairan dalam dengan struktur utama berbentuk silinder berdiameter besar dengan sarat air (*draft*) besar. Model struktur silinder yang digunakan sebagai aplikasi untuk penelitian ini mengadopsi dari Spar Genesis dengan diameter (D) 37.2 m dan panjang (L) 214.9 m (L/D = 6) yang berlokasi diperairan Teluk Meksiko dengan kedalaman air 792.1 m. Penelitian dilakukan berbasis pada finite element dengan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Model menggunakan 3 buah *rods* (*triple start*) dengan diameter tiaprod 3 m (9% dari diameter struktur) dalam rentang *gap ratio* ($\delta\delta/D$) 0.15 dan 0.25, yaitu dengan 3 variasi *gap* (δ) berturut-turut 5.58 m, 7.44 m dan 9.3 m. Panjang *pitch* dari *helical rods* diambil 90% dari panjang struktur. Arus yang dikenakan dalam pemodelan ini adalah *uniform steady* berarah tegak lurus terhadap silinder (posisi vertikal) dengan kecepatan (U) yang divariasi sehingga didapat Reynolds Number (*Re*) sebesar 7.43×10^7 , 3.89×10^7 , 3.54×10^6 , 3.54×10^5 , 3.54×10^4 dan 3.54×10^3 . Validasi model dilakukan dengan analisa sensitivitas meshing dan dibandingkan dengan hasil numerik kondisi *bare cylinder* yang menunjukkan hasil yang baik dengan C_D sebesar 0.33 pada *bare cylinder*. Model dengan *helical rods* bergap ini terbukti cukup efektif dalam mengurangi gaya fluida dengan penurunan hingga 70-80% pada gaya drag dan lift pada helical rods dengan gap 5.58 m. Dan mampu mengurangi aliran VIV.

Keywords: Vortex Induced Vibration (VIV), Suppression Devices, Helical Rods Bergap, Variasi Gap, Reynold Number

Pendahuluan

Permasalahan yang sering terjadi pada bangunan pantai berbentuk struktur silinder, salah satunya adalah *Vortex Induced Vibration* (VIV). VIV terjadi karena adanya *vortex shedding*, pelepasan *vortex*. Spar merupakan struktur lepas pantai yang berbentuk silinder terapung dengan diameter yang besar. Spar biasanya beroperasi pada daerah *deepwater* sehingga mendapatkan gaya gelombang dan arus yang sangat signifikan. Gaya eksistensi yang disebabkan oleh ketidakstabilan gelombang dan arus tersebut akan menyebabkan terjadinya getaran pada struktur silinder. Getaran tersebut yang akan menyebabkan peningkatan gaya drag yang bekerja pada struktur. Jika hal tersebut terjadi secara terus menerus, getaran tersebut dapat menimbulkan *fatigue damage* pada Spar. Sehingga penting untuk dilakukan penelitian metode yang paling tepat dalam meredam getaran. Para ahli telah melakukan banyak penelitian tentang VIV sebelumnya dan cara meminimalisasi

dampaknya. Blevins (2001) memberikan empat cara untuk meredam terjadinya VIV, yaitu meningkatkan *reduced damping*, menghindari terjadinya resonansi, menggunakan *streamlined cross section*, serta menambahkan alat peredam *vortex* (*vortex suppression devices*). Jones dan Lamb (2007) membagi alat peredam *vortex* tersebut menjadi tiga katagori, yaitu *topographic devices*, *shrouds*, dan *wake stabilizers*. Menurut Jones dan Lamb, *helical stakes* merupakan salah satu dari *topographic devices* yang paling banyak digunakan sekaligus dapat meredam terjadinya *vortex* hingga 80%, tetapi jenis ini memiliki kekurangan yakni menambah gaya drag pada silinder selain pembuatan dan penanganan di lapangan relatif sulit (Yufian, 2009). Penelitian lainnya untuk menggunakan *helical stakes* dengan mereduksi *vortex induced vibration* (VIV) yaitu Blevin (2001), Trim (2005), Korkischko (2010), dan Zhou (2011) merupakan studi eksperimental di laboratorium. Umumnya model uji merupakan dimensi dari riser, silinder dengan diameter kecil.

Penambahan *tripping rods* sebagai *suppression device* sangat signifikan mengurangi gaya fluida termasuk gaya drag. Hal ini terjadi karena aliran laminar yang akan menghantam silinder terlebih dahulu di ubah menjadi turbulen oleh *rods* sehingga gaya yang ditimbulkan jadi berkurang. Kemampuan *tripping rods* dalam meredam gaya fluida tergantung dari empat faktor, yaitu diameter silinder, diameter *tripping rods*, gap antara *rods* dan silinder, dan sudut antara *tripping rods* satu dengan yang lain (Alam, 2003). Dari penelitian sebelumnya telah dimodelkan *tripping rods* dengan bentuk lurus memanjang kebawah (Alam, 2003; 2007 ; Kim, 2007; Wu, 2012) Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, *tripping rods* dapat dimodelkan secara helical. Penyusunan *tripping rods* seperti ini dimaksudkan untuk lebih mengantisipasi arah arus yang multidirectional (Ihwan, 2011).

Penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa penelitian maupun studi yang pernah dilakukan dengan menggunakan *suppressing passive devices*. Dengan penggunaan *suppressing devices* jenis *helical rods* bergap yaitu *tripping rods* yang memiliki alur yang sama dengan *helical strakes* yang dikombinasikan.

Dengan mengaplikasikan *suppressing devices* jenis *helical rods* bergap pada struktur berdiameter besar. Biasanya penggunaan *suppressing devices* terdapat pada riser, tetapi dengan nilai *Reynold Number* (*Re*) yang besar maka struktur diameter besar pun akan mengalami dampak VIV yang cukup signifikan. Diharapkan dengan *suppressing devices* jenis ini mampu untuk mereduksi VIV dan mengurangi gaya drag yang terjadi pada struktur tersebut.

Tinjauan Pustaka

Penelitian inovasi jenis-jenis piranti untuk mengurangi (*suppression devices*) beban fluida dan getaran pada struktur akibat timbulnya *vortex* telah banyak dilakukan. Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan diketahui untuk eksperimen dilakukan pada model dengan struktur yang kecil dengan penggunaan paling banyak suppression devices berjenis *helical strakes* dan *tripping rods*.

Penelitian yang menggunakan *helical strakes* seperti Trim, dkk (2005) dilakukan menggunakan *long marine riser* yang berupa eksperimen dengan L/D sebesar 1400. Dengan diameter 0.5 m menggunakan *Reynold Number* kecil (70 000) dan yang paling besar dengan menggunakan kecepatan 2 m/s. Penggunaan *helical stakes* pada eksperimen tersebut dapat mengurangi VIV dengan penggunaan *helical* 82-91% dari panjang struktur.

Zhou, dkk (2011) juga melakukan eksperimen dengan silinder berhelical strakes dengan *Re* sebesar 10 240 sampai 40 800, didapatkan hasil bahwa

dibandingkan dengan *bare cylinder* dengan penggunaan *helical strakes* dapat mereduksi sebesar 98%.

Penelitian yang dilakukan oleh Alam, dkk (2003) menggunakan silinder dengan *tripping rods* sebagai peredam efek VIV. Dilakukan pada satu silinder maupun dua silinder yang disusun secara *tandem* maupun *side by side* dengan nilai *Re* sebesar 5.5 x 104. Didapatkan hasil dari eksperimen tersebut adalah peletakan *tripping rods* yang efektif adalah pada 40° – 44° dan penggunaan *tripping rods* dengan diameter 5 mm terhadap silinder dengan diameter 49 mm dapat mengurangi koefisien drag dan lift sebesar 61% - 87%.

Kim, dkk (2009) melakukan eksperimen dengan menggunakan silinder dengan *tripping rods*. Didapatkan hasil bahwa dengan *d/D* = 9% efisien untuk mengurangi efek VIV.

Wu, dkk (2012) melakukan eksperimen terhadap *long flexible riser* dengan *L/D* = 1750 yang diberi peredam VIV jenis *multiple rods* dengan variasi gap dan pajang *rods*. Hasil yang diperoleh δ/D yang optimal 0.375 dan penggunaan *tripping rods* 60% dari panjang total.

Constantinides, dkk (2006) dalam penelitiannya tentang *Simulation of Riser VIV Using Three Dimensional CFD Simulations* melakukan permodelan CFD 3D *bare cylinder* dengan *L/D* = 1400 dan menggunakan helical strake 75% dari panjang silinder dengan *L/D* = 1151. Didapatkan hasil gaya dan respon struktur hampir sama dengan selisih 5% antara pemodelan numerik CFD dan eksperimen.

Pemodelan Numerik

Pemodelan pada kajian numerik ini menggunakan dua model sebagai validasi perubahan aliran yang terjadi antara *bare cylinder* (silinder mulus tanpa *suppression device*) dan silinder yang diberikan *suppression devices* berupa *helical rods* bergap. Penelitian dilakukan secara numerik dengan metode CFD menggunakan software Fluent *Unsteady flow*. Variasi yang dilakukan pada pemodelan ini menggunakan pitch sebesar 90% dari panjang Spar yang kemudian menvariasikan gap yang digunakan untuk *helical rods*. Rentang gap ratio (δ/D) 0.15 dan 0.2, yaitu dengan 2 variasi gap (δ) berturut-turut 5.58 m dan 7.44 m. Sedangkan panjang pitch sebesar 193.41 m. Untuk variasi angka *Reynold Number* diambil dengan kecepatan sebesar 2.1 m/s sebagai yang paling tinggi karena merupakan kecepatan arus yang berada pada daerah Spar tersebut. Kecepatan 2.1 m/s menghasilkan *Reynold Number* sebesar 7.43 x 10⁷. Sedangkan untuk beberapa variasi kecepatan yang dilakukan dicantumkan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Variasi Kecepatan dan Nilai *Reynold Number* (Re)

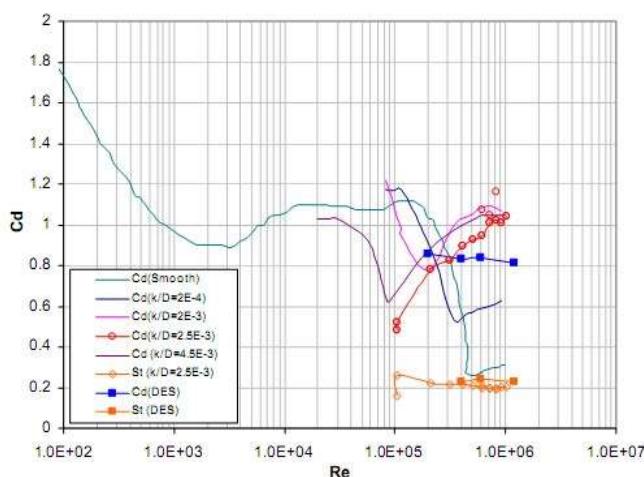
U (Kecepatan) m/s	Reynold Number (Re)
2.1	7.43×10^7
1.1	3.89×10^7
0.1	3.54×10^6
0.01	3.54×10^5
0.001	3.54×10^4

Sedangkan untuk domain yang digunakan sebagai daerah jangkauan aliran yaitu dengan panjang 13D sebesar 483.6 m, lebar 5D sebesar 186 m dan tinggi 214.9 m sepanjang struktur. Dengan ilustrasi sebagai berikut.



Gambar 1. Ukuran Domain Fluida

Dengan acuan domain dan bare cylinder seperti gambar 1, dilakukan analisis sensitivitas meshing pada model sehingga yang sesuai dengan acuan pada gambar 2. Analisa sensitivitas meshing dilakukan untuk mendapatkan ukuran meshing yang dinyatakan dengan jumlah elemen yang didapatkan dengan tepat sehingga output yang dihasilkan relative stabil/konstan, tidak terjadi fluktuatif.



Gambar 2. Bare Cylinder Terhadap Gaya Fluida
(Contantinides dkk, 2006)

Berdasarkan pada grafik gambar 2 diatas diperoleh nilai *coefficient drag* (C_D) untuk $Re 1 \times 10^6$ berkisar 0.2-0.3 dengan nilai *strouhal number* (St) sebesar 0.2. *Coefficient drag* (C_D) dapat dihitung dari gaya drag (F_D). Sedangkan *coefficient lift* (C_L) dihitung

dari gaya lift (F_L). Output yang dihasilkan Fluent meliputi gaya drag dan lift, yang kemudian mencari koefisien dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (1)$$

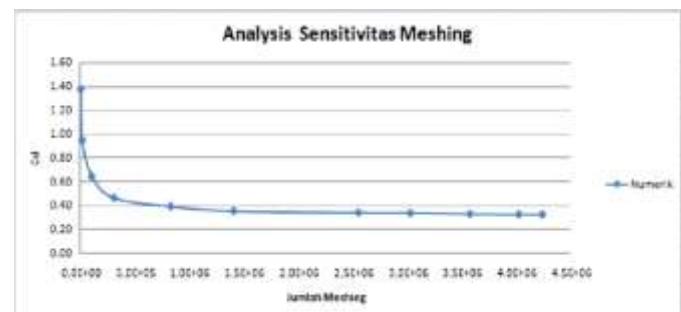
$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2)$$

Dimana ρ adalah densitas air (air laut = 1025 Kg/m³), D adalah diameter silinder uji (m), U adalah kecepatan fluida yang *incompressible* (m/s) dan A adalah frontal area silinder ($A = L \times D$) dengan L adalah panjang silinder (m). Dalam gambar 3 dapat dilihat grafik hasil analisa sensitivitas meshing.

Untuk permodelan CFD dilakukan pengaturan model turbulen menggunakan *large eddy simulation* (LES). Karena model LES sesuai untuk persamaan tiga dimensi (ANSYS, 2012). Time model unsteady dengan solver algorithm SIMPLE serta time step 25s dengan total time step 2000 s. Permodelan CFD 3D ini membutuhkan spesifikasi komputer yang besar karena menggunakan struktur yang besar dan perhitungan 3D.

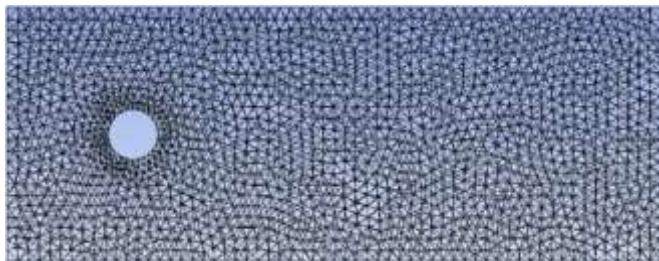
Tabel 2. Hasil Analisa Sensitivitas Meshing dengan $Re = 3.54 \times 10^6$

Jumlah Element	Gaya Drag (F_D) N	Coefficient Drag (C_D)
3768	56498.3	1.38
15656	39021.7	0.95
103540	26515.7	0.65
309107	19176.0	0.47
827420	16292.4	0.40
1406392	14701.5	0.36
2552110	14123.3	0.34
3028855	14021.2	0.34
3575646	13703.7	0.33
4024675	13553.4	0.33
4239120	13504.6	0.33



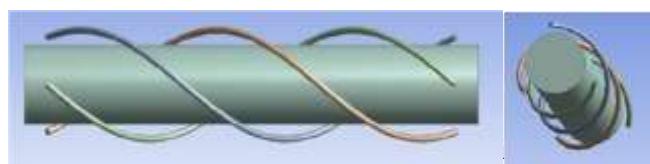
Gambar 3. Grafik Analisa Sensitivitas Meshing pada $Re = 3.54 \times 10^6$

Pada table 2 dan gambar 3 diatas hasil analisa sensitivitas meshing menunjukkan nilai coefficient drag yang stabil pada nilai 0.33 pada simulasi ke sembilan, sepuluh dan sebelas. Ukuran meshing menghasilkan rentang jumlah elemen antara 3×10^3 sampai 4×10^3 saat didapatkan kurva yang stabil/konstan. Dengan pertimbangan hal tersebut maka digunakan ukuran meshing tersebut. Pola yang digunakan merupakan tetrahedrons karena memiliki perbandingan struktur yang besar dan rod yang berstruktur kecil.



Gambar 4. Pola Meshing pada Model *Bare Cylinder*

Dengan menggunakan pola meshing dan hasil dari analisa sensitivitas meshing dilakukan pada model 3D dengan



Bergap dengan Jarak 5.58 m



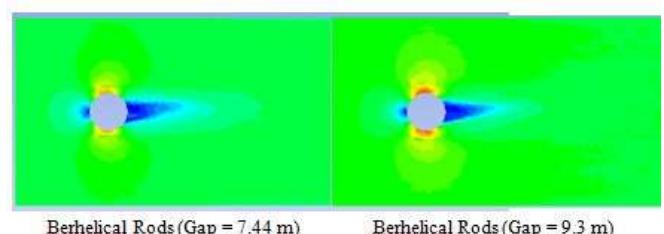
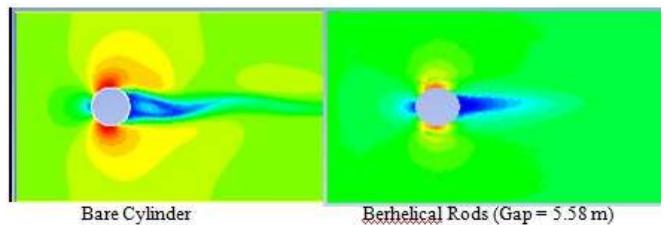
Gambar 6. Pola Meshing pada Model Silinder dengan Helical Rods Bergap

Dengan menggunakan pola meshing tetrahedron didapatkan hasil meshing untuk silinder dengan helical rods bergap tampak pada gambar 6.

Hasil dan Pembahasan

Setelah didapatkan hasil analisis sensitivitas meshing untuk model validasi, langkah selanjutnya adalah menggunakan model tersebut untuk perhitungan C_D dan C_L serta melihat pola alirannya dengan variasi nilai Re sebesar 7.43×10^7 , 3.89×10^7 , 3.54×10^6 , 3.54×10^5 , 3.54×10^4 dan 3.54×10^3 . Dengan

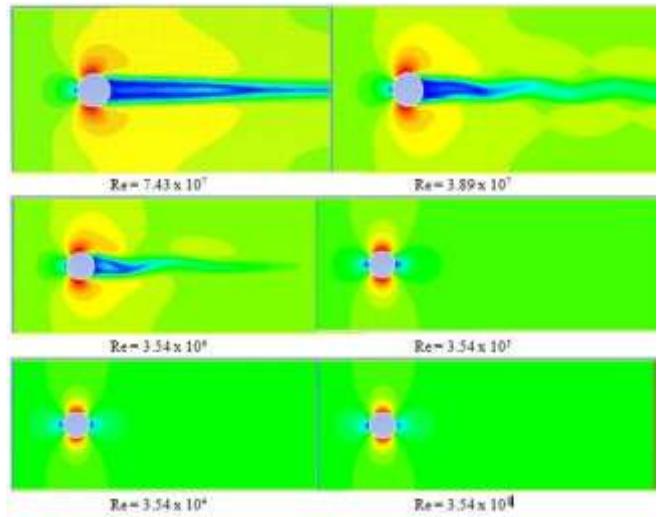
keterbatasan kinerja komputer maka hasil ditampilkan dalam 2D.



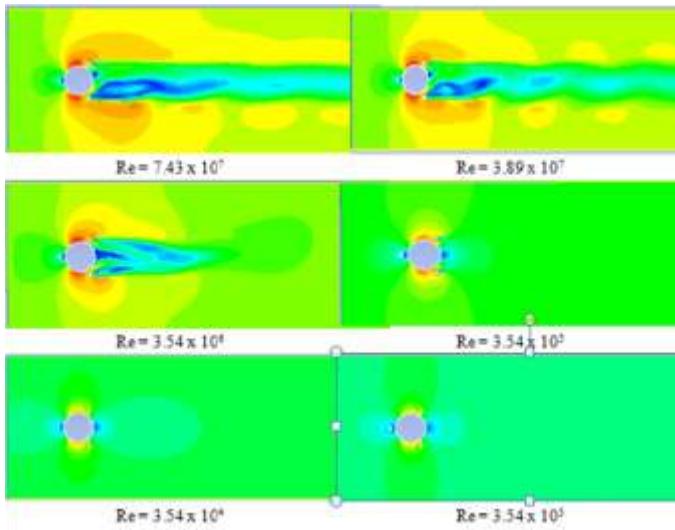
Gambar 7. Pola Aliran yang terjadi pada $Re = 3.54 \times 10^6$

Pada gambar 7 menunjukkan bahwa pada $Re = 3.54 \times 10^6$ untuk perbandingan antara bare cylinder dan silinder dengan helical rods, tidak terlalu tampak terjadi pelepasan vortex dikarenakan struktur yang dimodelkan merupakan rigid body dengan kecepatan yang relative kecil dibandingkan dengan strukturnya dan juga dilihat dari penampang atas.

Jika dilihat dengan melakukan pemotongan bagian daerah tengah maka dapat dilihat pada gambar 8 untuk bare cylinder dan gambar 9 untuk helical .



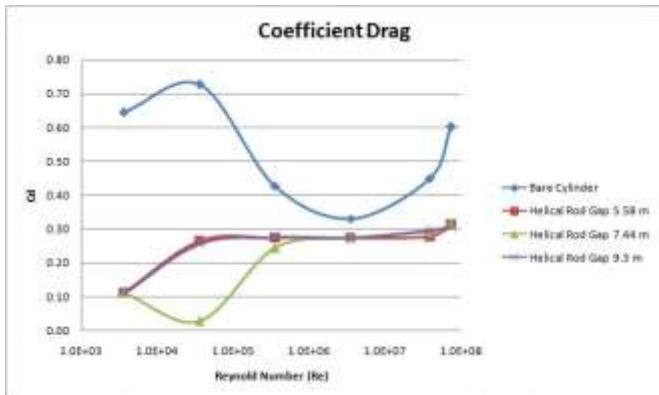
Gambar 8. Bare Cylinder pada Tiap Re



Gambar 9. Silinder dengan Helical Rods Bergap
Tampak Penampang Tengah pada Gap 5.58 m

Pada gambar 9 terlihat bahwa terjadi perubahan aliran dibelakang silinder akibat adanya helical rods bergap. Sehingga pada Re yang besar terlihat bahwa aliran terjadi vortex pada bare cylinder dan pada Re yang kecil tidak tampak pelepasan vortex pada gambar 8. Hal ini dikarenakan struktur yang rigid maupun domain yang memiliki jarak pemberian aliran terlalu dekat.

Sehingga didapatkan gambar 10 dan gambar 11 yang mengacu pada gambar 7 dengan perbandingan dari bare cylinder dan helical rods bergap pada Re sebesar 7.43×10^7 , 3.89×10^7 , 3.54×10^6 , 3.54×10^5 dan 3.54×10^4 dan 3.54×10^3 , yaitu sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik Nilai Coefficient Drag (C_D) antara Bare Cylinder dan 2 Variasi Helical Rods Bergap

Pada gambar 10 model bare cylinder dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi yang bervariasi. Pada $Re = 3.54 \times 10^3$ sampai 3.54×10^4 terjadi kenaikan C_D hingga 0.73 yang kemudian mengalami penurunan hingga $Re = 3.54 \times 10^6$ yaitu 0.33 dan terakhir

mengalami kenaikan lagi hingga $Re = 7.43 \times 10^7$ dengan nilai C_D 0.64.



Gambar 11. Grafik Nilai Coefficient Lift (C_L) antara Bare Cylinder dan 3 Variasi Helical Rods Bergap

Dari hasil pada gambar 10 dan 11 model silinder dengan helical rods bergap dengan variasi 5.58 m, 7.44 m dan 9.3 m terhadap model bare cylinder terjadi penurunan sekitar 17-82% terhadap nilai C_D dengan Gap 5.58 m. Sedangkan pada gambar 11 model silinder dengan helical rods bergap dengan variasi 5.58 m, 7.44 m dan 9.3 m terhadap model bare cylinder terjadi penurunan sekitar 70 % terhadap nilai C_L .

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari makalah ini antara lain.

- Nilai C_d dari bare cylinder sebesar 0.33 sesuai dengan grafik percobaan Constantinides, dkk (2006) yang berkisar 0.2 – 0.4.
- Terlihat pada penampang pada silinder dengan helical rods bergap pada gap 5.58 m terjadi perubahan aliran belakang silinder akibat helical rods bergap. Dapat terlihat pada gambar 8 diatas.
- Penurunan gaya drag dan lift terjadi antara bare cylinder dan silinder dengan helical rods bergap sebesar 70% - 80%.
- Berdasarkan hasil yang diperoleh dari variasi 3 gap yang dilakukan, gap yang memiliki hasil paling baik untuk digunakan sebagai pengurang gaya drag dan lift adalah 5.58 m karena gap 5.58 m dekat dengan silinder sedangkan 2 variasi lainnya terlalu jauh sehingga menghasilkan aliran yang hampir sama dengan yang mengenai struktur.
- Pada kajian numerik yang dilakukan menggunakan CFD memiliki beberapa kendala, yaitu spesifikasi komputer yang besar dengan penerapan domain serta struktur yang sangat besar tanpa skala, meshing dan model turbulen dari model tersebut.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didukung oleh Program Penelitian Unggulan PT 2013 dengan judul *Pengembangan Model Sistem Piranti Pengontrol Pasif Pereduksi Getaran akibat Vortex pada Komponen Struktur di Bawah Air dari Anjungan Lepas Pantai.*

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Eng. Rudi W. Prastianto.,S.T., M.T., Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Dr. Ir. Handayanu, M.Sc, serta Ir. Murdjito, M.Sc. Eng. atas segala bantuan dan bimbingan dalam penelitian ini.

Referensi

- Alam, M.M., Moriya, M., Takai, K., Sakamoto, H., 2003. *Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods.* Journal of Fluids and Structures 18, 347-366.
- ANSYS. 2012. *ANSYS Fluent Theory Guide.* ANSYS, Inc. Canonsburg, USA
- Bearman, P.W., 2011. *Circular cylinder wakes and vortex-induced vibrations.* Journal of Fluids and Structures 27, 648-658., Elsevier.
- Blevins, R. D. 1990. *Flow Induced Vibration.* Krieger Publishing company, Florida.
- Kim, S., Alam, M.M., Sakamoto, H., Zhou, Y., 2009. *Flow-induced vibration of two circular cylinders in tandem arrangement. Part 2: Suppression of vibrations.* Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic 97, 312-319.
- Trim et al. 2005. *Experimental Investigation of Virtex-Induced Vibration of Long Marine Riser.* Journal of Fluids and Structures, Elsevier.
- Wu, H et al. 2012. *Experimental investigation on suppression of vortex-induced vibration of long flexible riser by multiple control rods, Dalian China,* Elsevier.
- Yiannis Constantinides, Owen H. Oakley, Jr, 2006. *Simulation of Riser VIV Using Three Dimensional CFD Simulations.* Proceedings of OMAE2006, 92334, Hamburg, Germany, 4-9 june.
- Zhou, T., Razali, S.F.M., Hao, Z., Cheng, L., 2011. *On the study of vortex-induced vibration of a cylinder with helical strakes.* Journal of Fluids and Structures 27, 903-917.