

Simulasi CFD Pada *Long Flexible Cylinder* Yang Mengalami *Vortex Induced Vibration*

Maria Margareta Z. B.⁽¹⁾, Rudi Walujo Prastianto⁽²⁾, Handayani⁽²⁾, Murdjito⁽³⁾

Program Pascasarjana Teknologi Kelautan (PPsTK)^{(1),(2)}
Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan⁽³⁾

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111
Email : maria_margaret@ymail.com⁽¹⁾

Abstrak

Fenomena *Vortex Induced Vibration* (VIV) biasa terjadi pada komponen silindris dari struktur anjungan lepas pantai dalam industri migas yang berada dalam medan gelombang dan arus laut. Hal ini harus diperhatikan dalam pengembangan teknologi *deepwater riser*, tendon maupun pipa bawah laut. Dalam konteks ini, VIV semaksimal mungkin harus diminimalisir karena efeknya akan menurunkan kekuatan lelah elemen struktur. Pada kenyataannya, diperlukan cara agar dapat mengurangi VIV serta aman digunakan pada elemen struktur seperti *riser* yang berukuran panjang. Secara umum *suppression devices* dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu *active control* dan *passive control*. Dalam penerapan piranti tersebut, yang menjadi pertimbangan utama adalah kemudahan proses manufaktur, instalasi dan biaya yang murah, karena posisi *riser* menyentuh dasar laut (*seabed*). Makalah ini menjelaskan penelitian yang mencoba mengembangkan suatu piranti pereduksi VIV alternatif dengan konfigurasi yang tepat, sehingga sekaligus dapat mereduksi gaya drag dan VIV yang terjadi pada silinder fleksibel panjang sebagai model dari *riser*. Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Silinder model yang digunakan berdiameter (D) 0.016 m dan panjang (L) 28.04 m yang diposisikan vertikal dengan piranti berupa *rod* berdiameter 4 mm (d). Variasi *gap* antara silinder dan rods (δ), masing-masing adalah 3 mm, 6 mm dan 9 mm sehingga memberikan parameter δ/D berturut-turut 0.187, 0.375, dan 0.562. Arus yang dikenakan dalam pemodelan ini adalah *uniform flow* berarah tegak lurus terhadap silinder dengan kecepatan (U) yang divariasi sehingga didapat Reynolds Number (Re) sebesar 2400, 3900, 5500, 6200, 6900 dan 7600. Pemasangan piranti pereduksi VIV pada silinder model hanya sepanjang 60% dari panjang total karena menurut penelitian Wu, dkk (2012) ukuran tersebut adalah ukuran yang optimal. Dari hasil permodelan numerik CFD diperoleh koefisien *drag* maksimum (C_D) untuk *bare cylinder* pada Re 6900 dengan nilai $C_D=1.3$ dan maksimum koefisien *lift* maksimum (C_L) pada Re 6200 dan 7600 dengan nilai $C_L=0.6$. Sedangkan, untuk piranti pereduksi VIV berupa *rods* yang dipasang pada *cylinder* dapat menurunkan nilai C_D dan C_L sekitar 80-90% yang hal itu sesuai dengan hasil eksperimen Wu, dkk (2012).

Keywords: *Vortex Induced Vibration (VIV)*, *Long Flexible Cylinder*, *Suppression Device*, *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, *Rods*

Pendahuluan

Masalah Vortex Induced Vibration (VIV) yang terjadi pada long fleksible cylinder seperti mooring, riser dan pipa bawah laut yang berada dalam medan gelombang dan arus menjadi perhatian khusus. Hal ini disebabkan karena gaya eksitasi yang disebabkan oleh ketidak stabilan arus ditandai dengan timbulnya vorteks air secara periodik, akan menyebabkan terjadinya getaran pada struktur cylinder. Getaran tersebut selanjutnya akan semakin memperbesar gaya drag yang bekerja pada struktur. Jika hal ini terjadi terus-menerus maka dapat menimbulkan fatigue

damage pada struktur-struktur tersebut (Bearman, dkk, 2011).

Para ahli telah melakukan banyak penelitian tentang VIV dan cara meminimalisirnya. Blevins (1990) memberikan empat cara untuk meredam terjadinya VIV, yaitu: meningkatkan reduced damping, menghindari terjadinya resonansi, menggunakan streamlined cross section, serta menambahkan alat peredam vorteks (vortex suppression devices).

Alam (2003) mengembangkan penelitian yang dilakukan oleh zdravkovich (1981). Alam melakukan penelitian dengan memodelkan secara fisik tripping rods untuk meredam gaya VIV pada cylinder yang

manfaat menghasilkan kesimpulan bahwa tripping rods sebagai suppression device dapat meredam gaya fluida hingga 80%, namun penelitian tentang pengaruhnya terhadap VIV belum dilakukan. Wu, dkk (2012) melakukan percobaan di laboratorium terhadap long flexible riser dengan diameter 0,016m dan panjang 28.04 m ($L/D = 1750$) yang diberi peredam VIV jenis multiple rods dengan variasi gap dihasilkan dari percobaan laboratorium Wu, dkk (2012) dengan analisa Computational Fluid Dynamics (CFD). Pada makalah ini tidak membahas motion struktur. Dari simulasi ini dapat dilihat pola aliran dan gaya fluida yang terjadi. Dengan begitu hasil dari permodelan CFD ini dapat menjadi bahan komparasi yang baik. 9 mm sehingga memberikan parameter δ/D berturut-turut 0.187, 0.375, dan 0.562. Serta variasi panjang multiple rods yaitu 100%, 80%, 60%, 40% dan 20% dari panjang total. Pada variasi panjang multiple rods yaitu 100% dengan δ/D yaitu 0.375 dapat meminimalkan gaya drag dan lift hingga 90%.

Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai pengaruh VIV terhadap respon dinamis struktur telah banyak dilakukan. Setiap penelitian yang dilakukan menggunakan kondisi yang berbeda-beda. Seperti Alam, dkk (2002) melakukan penelitian mengenai *tripping rods* pada *single cylinder* dan *two cylinder* yang disusun *tandem* dan *side-by-side* dengan nilai $Re = 5.5 \times 10^4$. Hasilnya menunjukkan bahwa posisi optimal untuk *tripping rods* adalah pada sudut $41^\circ - 44^\circ$ dan dua *tripping rods* dengan diameter 5 mm dapat mengurangi koefisien drag (C_D) dan lift (C_L) sekitar 67% dan 87%.

Trim, dkk (2002) melakukan studi eksperimental untuk mengurangi terjadinya *vortex induced vibration* pada *long flexible riser*, dengan menggunakan *helical strake*. Hasilnya $17.5D$ pitch $\times 0.25D$ height dan $5D$ pitch $\times 0.14D$ height yang dipasang *full* dan *partial* dapat mengurangi respon struktur dengan baik. Huang (2007) telah memodelkan *top tension riser* sepanjang 3000 ft tanpa membaginya ke dalam span-span dengan menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dalam kesimpulannya, Huang menyatakan bahwa pengaruh VIV sangat besar terhadap respons dan tegangan struktur. Constantinides dan Oakley (2006) dalam penelitiannya tentang *Simulation of Riser VIV Using Three Dimensional CFD Simulations* melakukan permodelan CFD 3D bare dengan $L/D=1400$ dan Strake (75% sepanjang *cylinder*) dengan $L/D=1151$. Simulasi ini menggunakan metode *strip teori* dengan mengabungkan (*couple*) simulasi CFD dengan analisa struktur. Hasilnya, *bare riser* dan *strake riser* untuk *uniform current* dan *sheared current* dari gaya drag, gaya lift serta respon struktur menunjukkan hasil yang

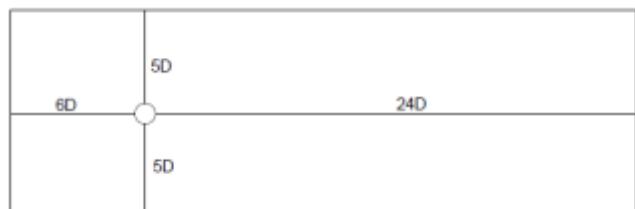
dan pajang rods. Variasi gap antara *cylinder* dan rods (δ), masing-masing adalah 3 mm, 6. Tetapi ditinjau dari strain beliau lebih menyarankan menggunakan δ/D yang optimal 0.375 dan $Lc/L \approx 60\%$ (rasio panjang multiple rods terhadap panjang total *cylinder*).

Dalam makalah ini akan dibahas permodelan numeris long flexible cylinder sesuai ukuran optimal yang hampir sama dengan eksperimen di laboratorium.

Pemodelan Numerik

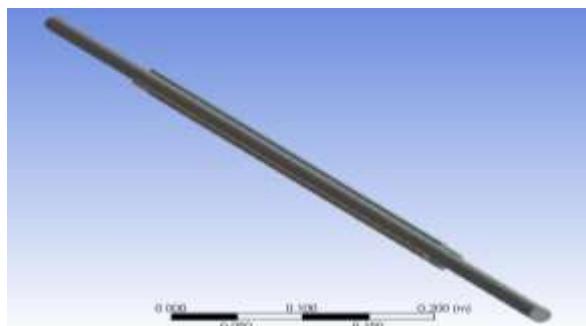
Dalam permodelan ini digunakan dua model, yaitu *bare cylinder* (*cylinder* normal tanpa peredam) dan *cylinder* yang diberi peredam berupa *multiple rods* dengan variasi gap antara *cylinder* dan rods serta persentase panjang rods terhadap panjang *cylinder*. Nilai angka Reynolds yang digunakan adalah 2400, 3900, 5500, 6200, 6900 dan 7800. Tahapan penelitian ini menggunakan data dari Wu, dkk (2012). Penelitian dilakukan secara numerik dengan metode CFD menggunakan software *Fluent*. Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka permodelan domain fluida dan strukturnya dilakukan dengan kondisi seperti pada Gambar 1.

Tipe domain yang dipilih berbentuk persegi panjang (*rectangular domain*). Dimana ukuran domain yang digunakan dalam simulasi CFD ini adalah $30D \times 10D$, dengan posisi *cylinder* arah x adalah $1/5$ dari $30D$ dan posisi *cylinder* arah y adalah $1/2$ dari $10D$.

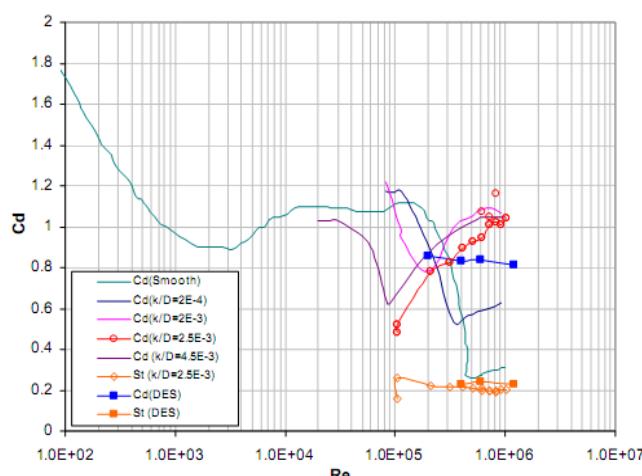


Gambar 1. Ukuran domain fluida terhadap model uji *cylinder*

Sebelum model *bare cylinder* dianalisa dan dipasang *multiple rods* seperti pada Gambar 2 terlebih dahulu dilakukan analisis sensivitas meshing agar sesuai dengan grafik yang ada pada Gambar 3. Tujuan analisis sensivitas meshing adalah untuk mendapatkan ukuran meshing yang tepat sehingga output yang dihasilkan menjadi relatif stabil/stasioner, tidak lagi fluktuatif dengan berubahnya ukuran/jumlah meshing. Grafik pada Gambar 3 merupakan hasil penelitian numerik CFD yang dilakukan oleh Constantinides dan Oakley (2006) dimana menunjukkan hubungan antara nilai *Reynold Number* (Re) terhadap gaya fluida yang terjadi pada *bare cylinder*.



Gambar 2. Model *multiple rods* yang dipasang pada *long flexible cylinder*.



Gambar 3. Nilai C_D untuk beberapa kondisi *cylinder*, termasuk *bare cylinder* (Constantinides dan Oakley, 2006).

Dari grafik pada Gambar 3 di atas diperoleh nilai koefisien drag (C_D) sekitar 0.9 pada $Re = 10^3$ dengan nilai *Strouhal number* (St) 0.2. Koefisien *drag* (C_D) dihitung dari gaya *drag* (F_D). Sedangkan untuk koefisien *lift* (C_L) dihitung dari gaya *lift* (F_L). Gaya *drag* dan *lift* merupakan salah satu output proses Fluent. Koefisien *drag* dan *lift* dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

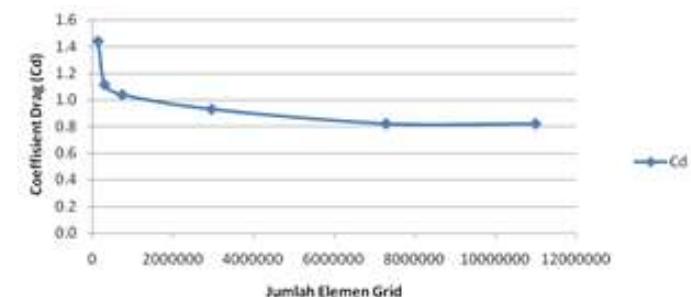
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (1)$$

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

Dimana ρ adalah densitas air ($\text{air} = 998 \text{ kg/m}^3$), D adalah *cylinder* uji (m), U adalah kecepatan fluida yang incompressible (m/s) dan A adalah frontal area *cylinder* ($A = D \times L$) dengan L adalah panjang *cylinder* (m). Rangkuman data meshing untuk analisis sensitivitas meshing pada model *cylinder* dapat dilihat pada Tabel 1. Ukuran meshing divariasikan

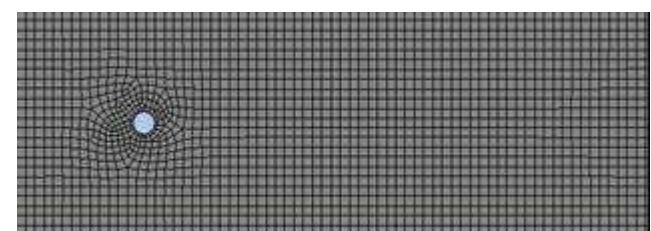
hingga menghasilkan jumlah elemen dalam rentang 1×10^5 hingga 11×10^6 sehingga didapatkan kurva data karakteristik perubahan C_D terhadap kerapatan meshing sampai diperoleh besar C_D yang cukup konstan. Gambar 4 adalah hasil analisis sensitivitas meshing yang menunjukkan nilai koefisien drag (C_D) stabil pada nilai 0.8 pada simulasi kelima dan keenam.

Simulasi	Jumlah elemen	Nilai Koefisien drag (C_D)
S1	143995	1.4
S2	308512	1.1
S3	745143	1.0
S4	2960880	0.9
S5	7290195	0.8
S6	11000590	0.8



Gambar 4. Hasil analisis sensitivitas *meshing* pada model yang diuji.

Untuk keperluan analisa lebih lanjut, maka jumlah elemen untuk model diambil disekitar 7×10^6 dengan ukuran meshing tercantum pada Tabel 1. Adapun pola *structure grid meshing* yang dipilih dari penampang fluida ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam hal ini dipakai jenis meshing ini karena sangat cocok untuk *simple solution domain* (Ferziger dan Peric, 1997).



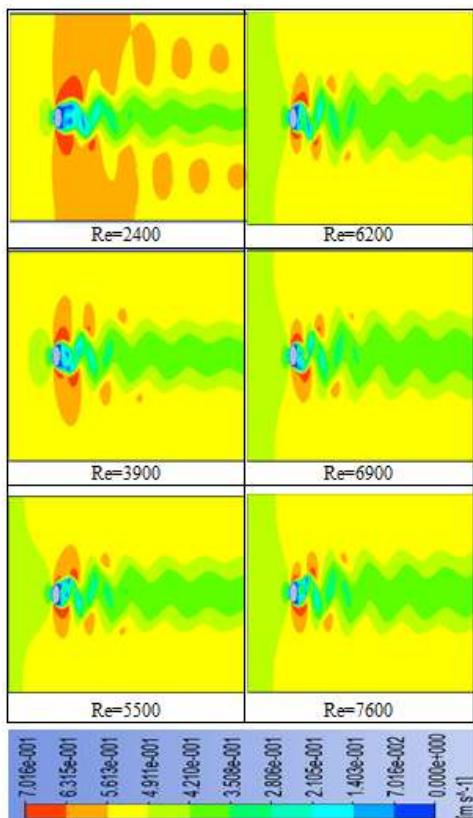
Gambar 5. Model *meshing* untuk model *bare cylinder*.

Untuk pemodelan CFD pengaturan model turbulennya menggunakan *Large Eddy Simulation* (LES). Karena model LES paling sesuai untuk persamaan tiga dimensi (ANSYS, 2012). Time model unsteady dengan solver algorithm SIMPLE menggunakan inkremen waktu 1 detik. Pemodelan

CFD 3D *simulation* ini membutuhkan spesifikasi komputer yang besar serta membutuhkan waktu yang sangat lama dalam proses running. Peninjauan di beberapa titik dari panjang struktur dapat dilakukan untuk menghemat waktu serta tidak membutuhkan spesifikasi komputer yang lebih besar.

Hasil dan Pembahasan

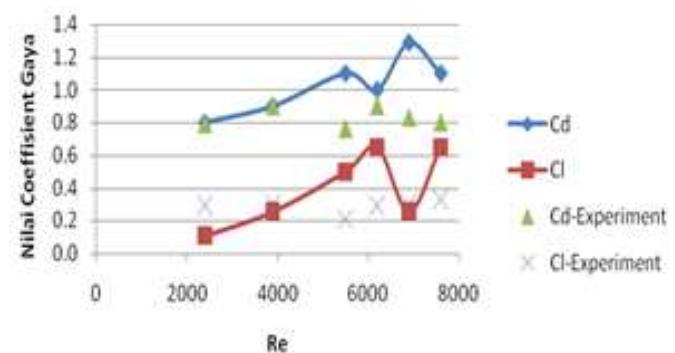
Setelah dilakukan analisis sensitivitas meshing untuk model validasi, langkah selanjutnya adalah menggunakan model tersebut untuk perhitungan C_D dan C_L serta melihat pola alirannya dengan variasi nilai $Re = 2400, 3900, 5500, 6200, 6900$ dan 7600 . Gambar 6 menunjukkan pola aliran pada masing-masing Re untuk kasus *bare cylinder* yang ditampilkan 2D pada titik $z = 0$ m dari panjang *cylinder*.



Gambar 6. Pola aliran pada kasus *bare cylinder* dengan variasi nilai Re .

Pola aliran pada Gambar 6 menunjukkan terjadinya perubahan pola pelepasan vorteks dengan berubahnya Re . Penyebab terjadinya pelepasan *vortex* yaitu karena adanya 2 titik yang tidak stabil pada $Re > 40$. Akibatnya, pasangan *vortices* yang terbentuk menjadi tidak stabil sehingga salah satu *vortex* akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya. *Vorticity* dalam *Vortex*

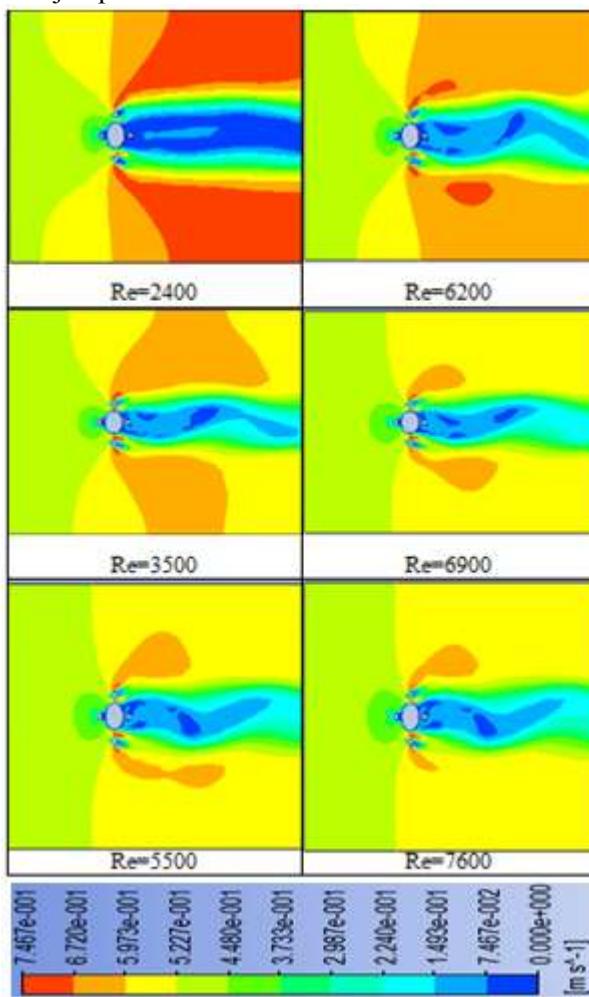
A berputar searah jarum jam, sedangkan *vorticity* dalam *vortex* B berputar berlawanan arah jarum jam. Selanjutnya gerakan aliran *vorticity* yang berlawanan arah jarum jam akan memotong aliran *vorticity* yang men-suplay *Vortex* A, sehingga *Vortex* A terlepas lalu menjadi *vortex* bebas dan terseret aliran ke arah belakang/menjauhi *cylinder*. Setelah *vortex* A terlepas, terbentuklah *vortex* baru menggantikan *vortex* A yaitu *Vortex* C. Maka selanjutnya, *Vortex* B akan mengalami hal yang sama dengan *Vortex* A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh *vortex* C dan akhirnya terlepas menjadi *vortex* bebas. Proses seperti ini akan terus berlanjut setiap terjadi pelepasan *vortex* baru pada setiap sisi *cylinder*.



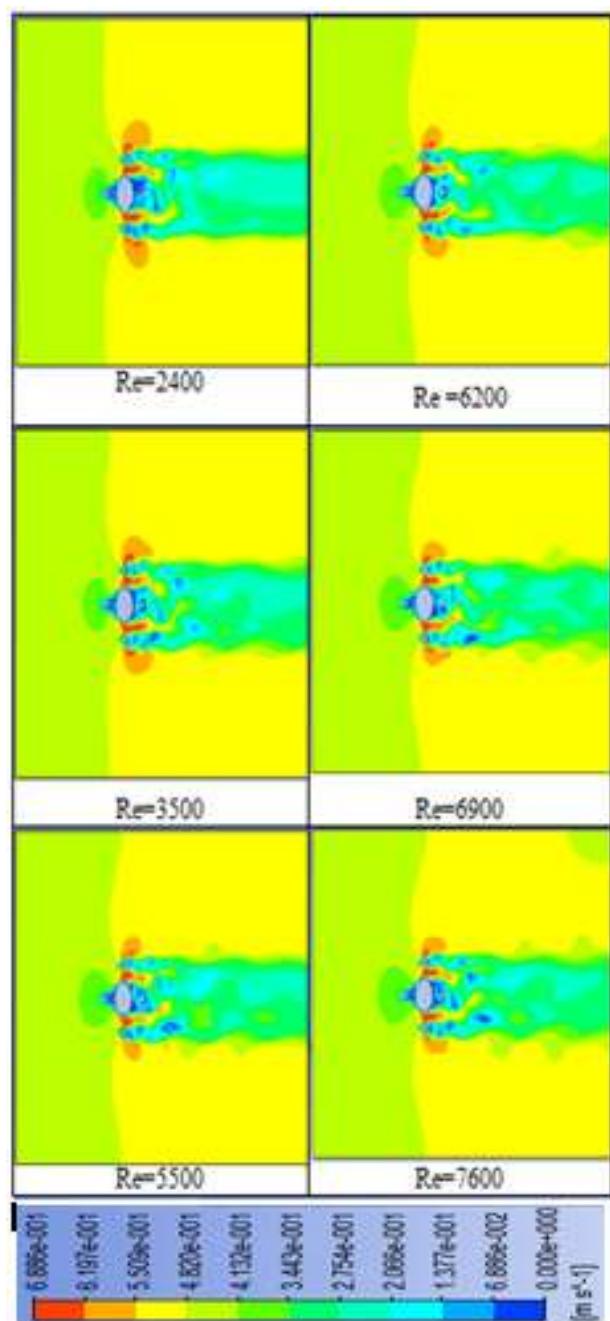
Gambar 7. Nilai C_D dan C_L untuk kasus *bare cylinder* pada masing-masing nilai Re .

Dari Gambar 7 dapat dilihat adanya kesamaan antara percobaan eksperimen Wu, dkk (2012) dengan permodelan CFD. Nilai C_D pada $Re = 2400 - 5500$ yang mengalami peningkatan dengan $C_D = 0.8-1.1$. Tetapi pada $Re = 6200$ nilai C_D mengalami penurunan sebesar 0.1 hingga menjadi 1.0. Selanjutnya mengalami kenaikan kembali pada $Re = 6900$ dengan nilai $C_D = 1.3$. Kemudian pada $Re = 7600$ mengalami penurunan kembali sebesar 0.2, sehingga nilai $C_D = 1.1$. Kisaran Nilai C_D yang dihasilkan sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Constantinides dan Oakley (2006) pada *bare cylinder* untuk $Re = 1 \times 10^3$. Hal yang sama juga terjadi pada C_L di mana terjadi kenaikan linier pada $Re = 2400-6200$ dan menurun pada $Re = 6900$ dengan nilai $C_L = 0.2$. Kemudian pada nilai $Re = 7600$ nilai C_L meningkat menjadi 0.6. Selanjutnya, Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 memperlihatkan pola aliran pada kasus *cylinder* yang dipasang peredam berupa *tripping rods* dengan diameter 4 mm untuk masing-masing gap. Variasi *gap* antara *cylinder* dan *rods* (δ), masing-masing 3 mm, 6 mm dan 9 mm sehingga memberikan parameter rasio gap (δ/D) berturut-turut 0.187, 0.375, dan 0.562. Dengan demikian dapat diperoleh hasil

seberapa besar *multiple rods* yang dipasang pada cylinder mampu meminimalkan gaya drag dan lift yang terjadi pada cylinder. Pada Gambar 8 sampai dengan 10 menampilkan gambar pola aliran 2D yang ditinjau pada titik $z = 5.6$ m.

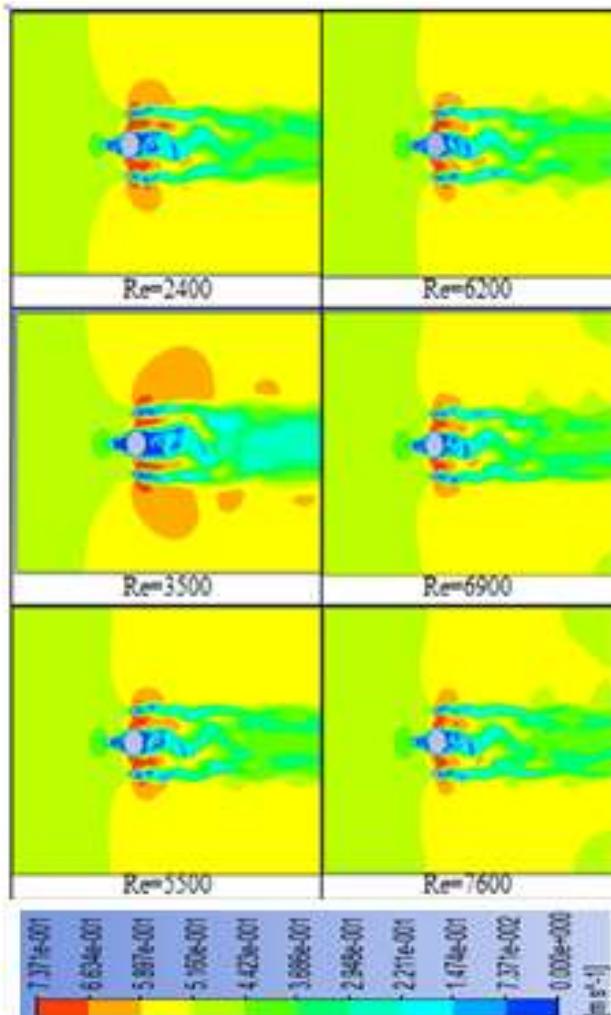


Gambar 8. Pola aliran fluida di sekitar model *cylinder* dengan *tripping rods* bergap 3mm pada tiap-tiap Re.

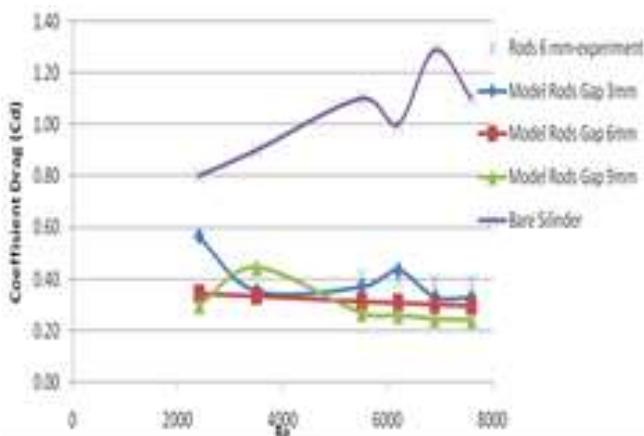


Gambar 9. Pola aliran fluida di sekitar model *cylinder* dengan *tripping rods* bergap 6mm pada tiap-tiap Re.

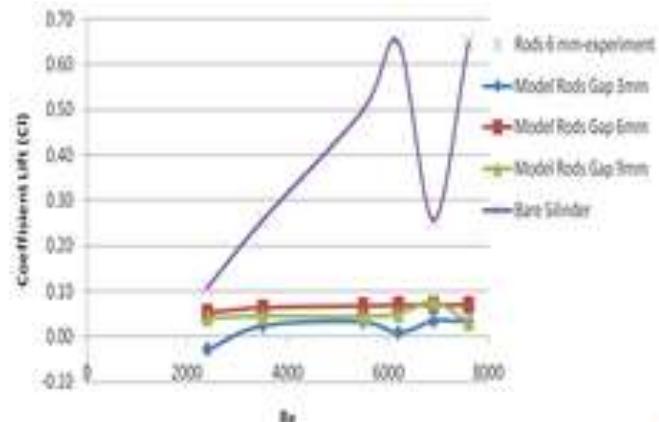
Dari gambar 8 sampai dengan 10 dapat dilihat pola aliran di sekitar *cylinder* yang dipasang *multiple rods*. Dengan dipasangnya *rods* mengganggu pola aliran *vortex* yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien gaya *drag* dan *lift* yang dihasilkan.



Gambar 10. Pola aliran fluida di sekitar model cylinder dengan *tripping rods* bergap 9mm pada tiap-tiap Re.



Gambar 11. Nilai koefisien drag (C_D) dari cylinder dengan *tripping rods* bergap pada tiap-tiap Re.



Gambar 12. Nilai koefisien lift (C_L) dari *cylinder* dengan *tripping rods* bergap pada tiap-tiap Re

Dari grafik pada Gambar 11 dengan variasi gap 3 mm, 6 mm dan 9 mm, jika dibandingkan dengan nilai C_D pada *bare cylinder* terjadi penurunan nilai C_D sangat drastis yaitu sekitar 80%. Nilai C_D untuk semua model dengan *tripping rods* berkisar antara 0.2 sampai 0.5 untuk semua nilai Re yang diujikan. Trend yang serupa juga terjadi pada gaya lift seperti ditunjukkan pada Gambar 12 dimana nilai C_L turun secara signifikan hingga berkisar -0.02 sampai 0.08 pada semua Re yang diujikan.

Terlihat pada Gambar 11 dan 12, dari ketiga variasi gap yang dimodelkan yaitu 3mm, 6mm dan 9mm, maka model dengan gap 6 mm menyebabkan penurunan nilai C_D dan C_L paling stabil. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen laboratorium yang dilakukan Wu, dkk (2012) dimana pada kesimpulan dari penelitiannya model gap 6 mm merupakan ukuran gap yang optimal karena mampu mereduksi gaya *drag* dan *lift* sekitar 80% - 90%.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik pola aliran di sekitar sebuah *bare cylinder* pada nilai Re = 2400, 3500, 5500, 6200, 6900 dan 7600 menunjukkan adanya pelepasan vorteks di belakang cylinder dan terlihat perbedaannya pada tiap nilai Re.
2. Nilai C_D dari *bare cylinder* berkisar 0.8 hingga 1.3. Sedangkan nilai C_L berkisar -0.2 hingga 0.6. Kisaran nilai C_D dan C_L ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Wu, dkk (2012).
3. Hasil yang diperoleh dari model *bare cylinder* dengan *cylinder* yang dipasang *multiple tripping rods*, menunjukkan terjadi penurunan gaya *drag* dan *lift* sekitar 80%-90%.
4. Dari ketiga variasi gap *tripping rods* terhadap

- cylinder*, yaitu 3 mm, 6 mm, dan 9 mm, ukuran gap yang memberikan hasil paling stabil pada nilai C_D dan C_L untuk setiap nilai Re adalah gap 6 mm. Hal ini sesuai dengan eksperimen laboratorium dari Wu, dkk (2012) yang memberikan kesimpulan bahwa gap 6 mm merupakan ukuran gap yang optimal.
5. Dengan demikian, model yang dibuat dengan simulasi CFD dalam penelitian ini cukup baik dan valid. Namun demikian ada beberapa faktor yang mempengaruhi modeling dengan CFD yaitu diperlukan spesifikasi komputer yang besar, penentuan domain shape, meshing/grid size, model turbulen dan lain-lain. Faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi. Studi yang lebih spesifik sangat diperlukan agar diperoleh hasil yang optimal.
 6. Walaupun permodelan aliran disekitar struktur silinder sudah banyak dilakukan. Tetapi masih sangat menarik untuk dikembangkan dalam penelitian yang akan datang.

Ucapan Terimakasih

Makalah ini merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi 2013 dengan judul “*Pengembangan Model Sistem Piranti Pengontrol Pasif Pereduksi Getaran akibat Vortex pada Komponen Struktur di Bawah Air dari Anjungan Lepas Pantai*”. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) - Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) – ITS Surabaya atas segala bantuan dan kerjasamanya.

Daftar Pustaka

- 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.
- Constantinides, Y. dan Oakley, O. H., Jr, 2006. *Simulation of Riser VIV Using Three Dimensional*

CFD Simulations. Proceedings of OMAE2006, 92334, Hamburg, Germany, 4-9 june.

Ferziger, J.H and Peric, M. 1997. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer. Berlin-Germany.

Huang, Kevin, Hamn Ching Chen, dan Chia Rong Chen, 2007, *Deepwater Riser VIV Assesment by Using a Time domain Simulation Approach*, Proceeding of Offshore Technology Conference. Houston, Texas, USA, 30 April-3 May.

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.