

VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) YANG TERJADI AKIBAT VARIASI GAP TERHADAP MULTIPLE RODS PADA KOMPONEN SILINDRIS

Maria Margareta Z. B.⁽¹⁾, Rudi Walujo Prastianto⁽²⁾, Handayanu⁽²⁾
Jurusan Teknik Perkapalan, ITATS⁽¹⁾
Program Pascasarjana Teknologi Kelautan (PPsTK)^{(2),(3)}
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Email : maria_margaret@ymail.com⁽¹⁾

ABSTRAK

Studi aliran disekitar *bluff body* dan efek dari fenomena *vortex induced vibration* (VIV) diperlukan dalam mendesain bangunan lepas pantai, jembatan dan lain sebagainya. VIV dapat menyebabkan berkurangnya umur operasi suatu peralatan dan dapat berakibat pada kegagalan operasi. Oleh karena itu sangat penting untuk memahami mekanisme terjadinya VIV dan rangkaian interaksi fluida dan struktur. Dalam hal ini, VIV semaksimal mungkin harus diminimalisir karena efeknya akan menurunkan kekuatan lelah elemen struktur, sehingga diperlukan cara agar dapat mengurangi VIV serta aman digunakan pada elemen struktur seperti *riser* yang berukuran panjang. 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 divariasikan sehingga didapat Reynolds Number (*Re*) sebesar 2400, 3900, 5500, 6200, 6900 dan 7600. Pemasangan piranti pereduksi VIV pada silinder model di pasang sepanjang 60% dari panjang total. Dari hasil permodelan numerik CFD diperoleh maksimum koefisien *drag* (C_D) untuk *bare cylinder* pada *Re* 6900 dengan nilai $C_D=1.3$ Sedangkan, untuk piranti pereduksi VIV berupa *rods* dengan gap 6 mm yang dipasang pada *cylinder* menunjukkan penurunan nilai C_D yang stabil.

Keywords: *Vortex Induced Vibration (VIV), Riser, Rods, Computational Fluid Dynamics (CFD), Drag Force*

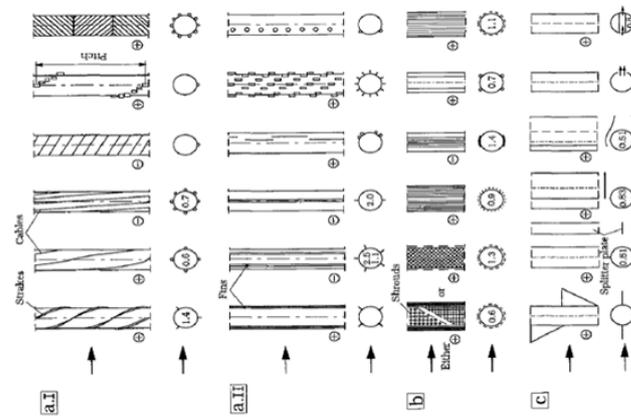
PENDAHULUAN

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 mana 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 0.016 m dan panjang 28.04 m ($L/D=1750$) yang diberi peredam VIV jenis *multiple rods* dengan variasi gap dan pajang rods. Variasi gap antara *cylinder* 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. 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%. 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 pemodelan numeris *long flexible cylinder* sesuai ukuran optimal yang 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.



Gambar 1. Jenis *Vortex Suppression Device*, (i) surface protrusions ((a) omnidirectional dan (b) under-rictional), (ii) shrouds, (iii) nearwake (Zdravkovich,1981)

TINJAUAN PUSTAKA

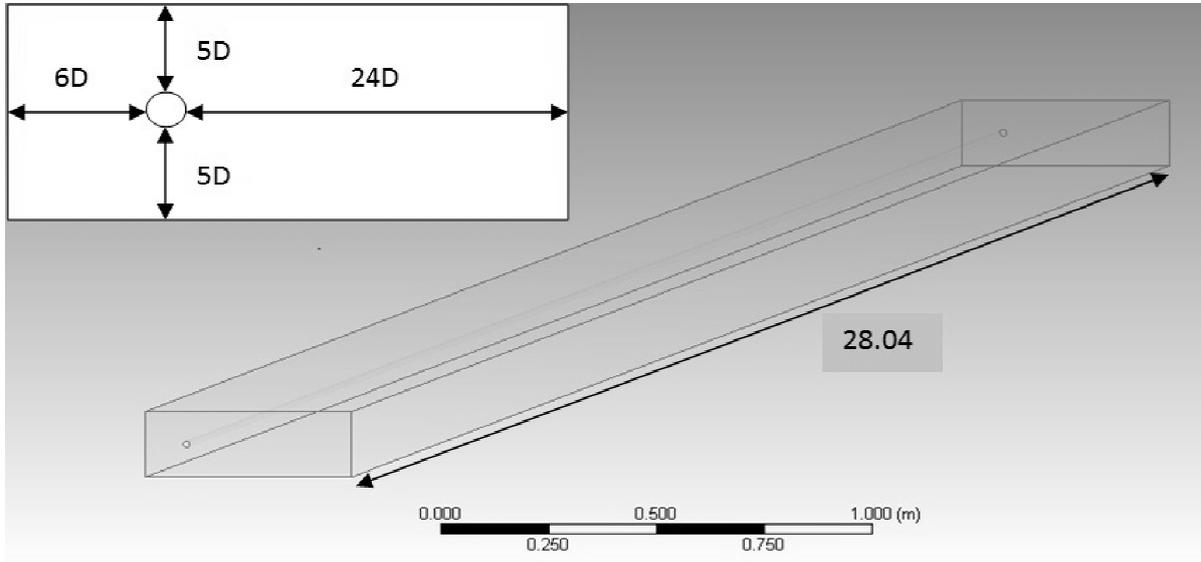
Penelitian mengenai pengaruh VIV terhadap respon dinamis struktur telah banyak dilakukan. Setiap penelitian yang dilakukan menggunakan kondisi yang berbeda-beda. Seperti Alam, dkk (2002) melakukan penelitian mengenai *tripping rods* pada *single cylinder* dan *two cylinder* yang disusun *tandem* dan *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 menggabungkan (*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 hampir sama dengan eksperimen di laboratorium.

METODE

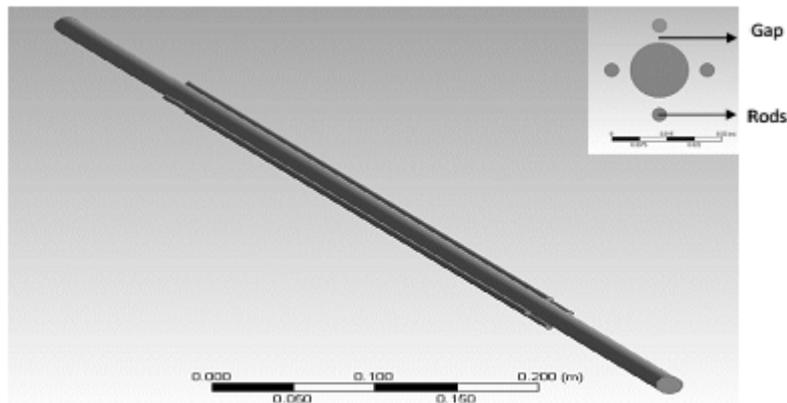
Dalam permodelan ini digunakan dua model, yaitu *bare cylinder* (*cylinder* normal tanpa peredam) dan *cylinder* yang diberi peredam berupa *multiple rods* dengan variasi gap antara *cylinder* dan rods serta prosentase panjang rods terhadap panjang *cylinder*. Nilai angka Reynolds yang digunakan adalah 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 pemodelan domain fluida dan

strukturnya dilakukan dengan kondisi seperti pada Gambar 2. Tipe domain yang dipilih berbentuk persegi panjang (*rectangular domain*). Dimana ukuran domain yang di gunakan 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 $10D$.

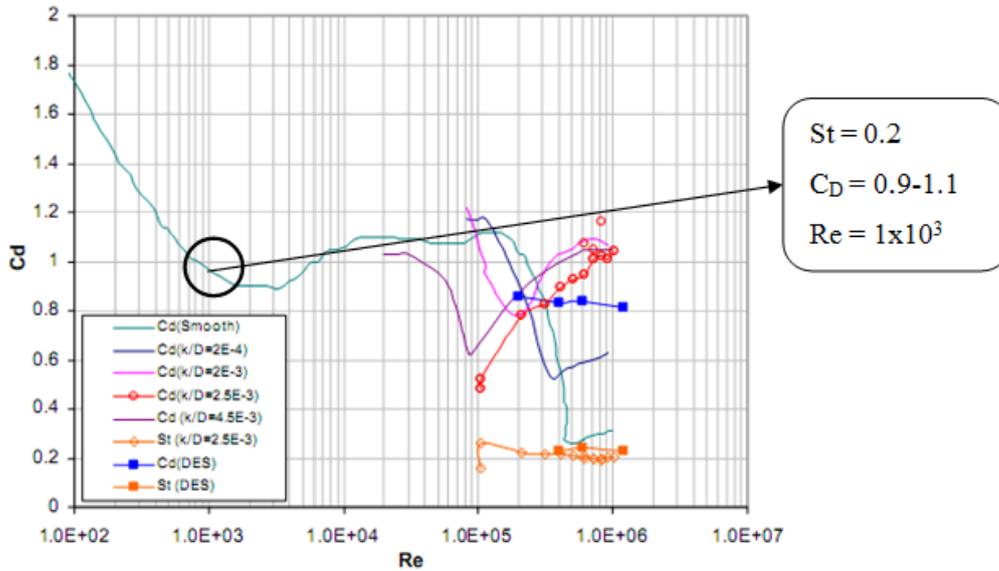


Gambar 2. Ukuran domain fluida terhadap model uji *cylinder*

Sebelum model *bare cylinder* dianalisa dan dipasang *multiple rods* seperti pada Gambar 3 terlebih dahulu dilakukan analisis sensitivitas meshing agar sesuai dengan grafik yang ada pada Gambar 4. Tujuan analisa sensitivitas 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 4 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 3. Model *multiple rods* yang dipasang pada *long flexible cylinder*.



Gambar 4. Nilai C_D untuk beberapa kondisi *cylinder*, termasuk *bare cylinder* (Constantinides dan Oakley, 2006).

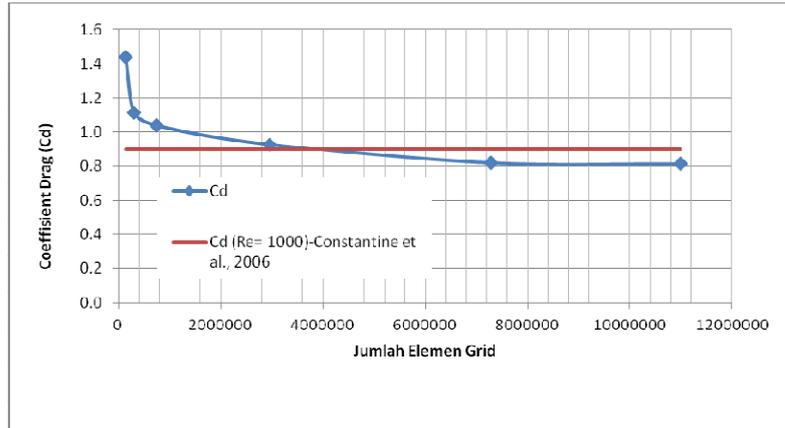
Dari grafik pada Gambar 3 di atas diperoleh nilai koefisien drag (C_D) sekitar 0.9 pada $Re = 10^3$ dengan nilai *Strouhal number* (St) 0.2. Koefisien *drag* (C_D) dihitung dari gaya *drag* (F_D). Sedangkan untuk koefisien lift (C_L) dihitung dari gaya *lift* (F_L). Gaya *drag* dan *lift* merupakan salah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

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

Dimana ρ adalah densitas air ($\rho = 998 \text{ kg/m}^3$), 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.

Tabel 1. Hasil analisa sensitivitas meshing dengan nilai $Re = 2.4 \times 10^3$

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

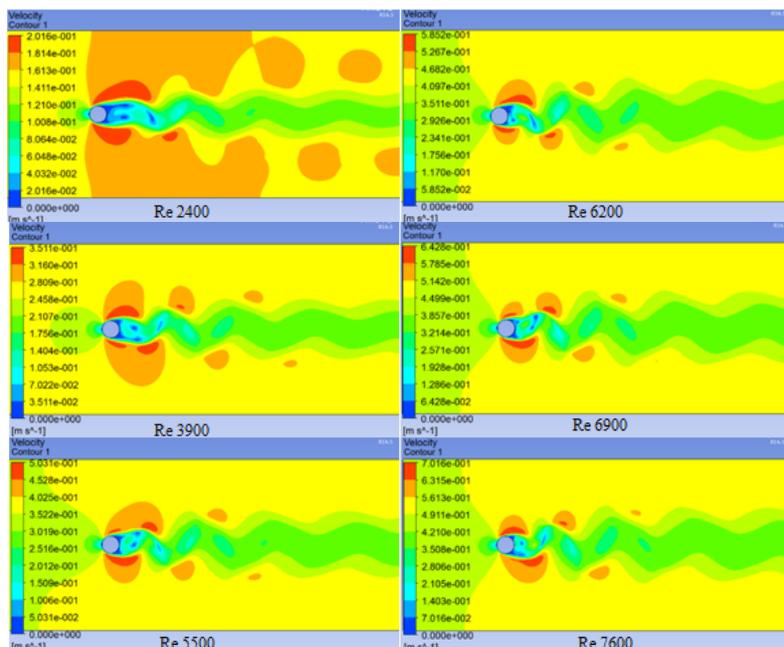


Gambar 5. Sensivitas *meshing* pada model yang di uji

Untuk keperluan analisa lebih lanjut, maka jumlah elemen untuk model diambil disekitar 7×10^6 dengan ukuran *meshing* tercantum pada Tabel 1. 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.

PEMBAHASAN DAN HASIL

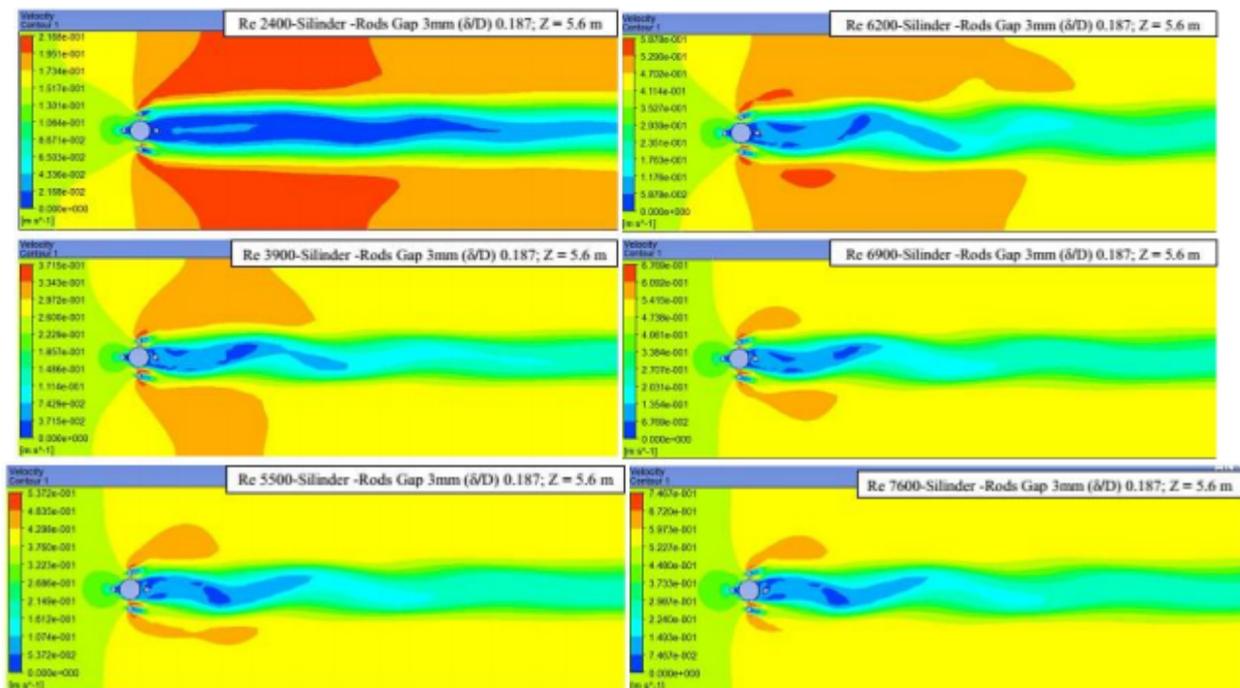
Setelah dilakukan analisis sensitivitas *meshing* untuk model validasi, langkah selanjutnya adalah menggunakan model tersebut untuk perhitungan C_D dan C_L serta melihat pola alirannya dengan variasi nilai $Re = 2400, 3900, 5500, 6200, 6900$ dan 7600 . Gambar 6 menunjukkan pola aliran pada masing-masing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



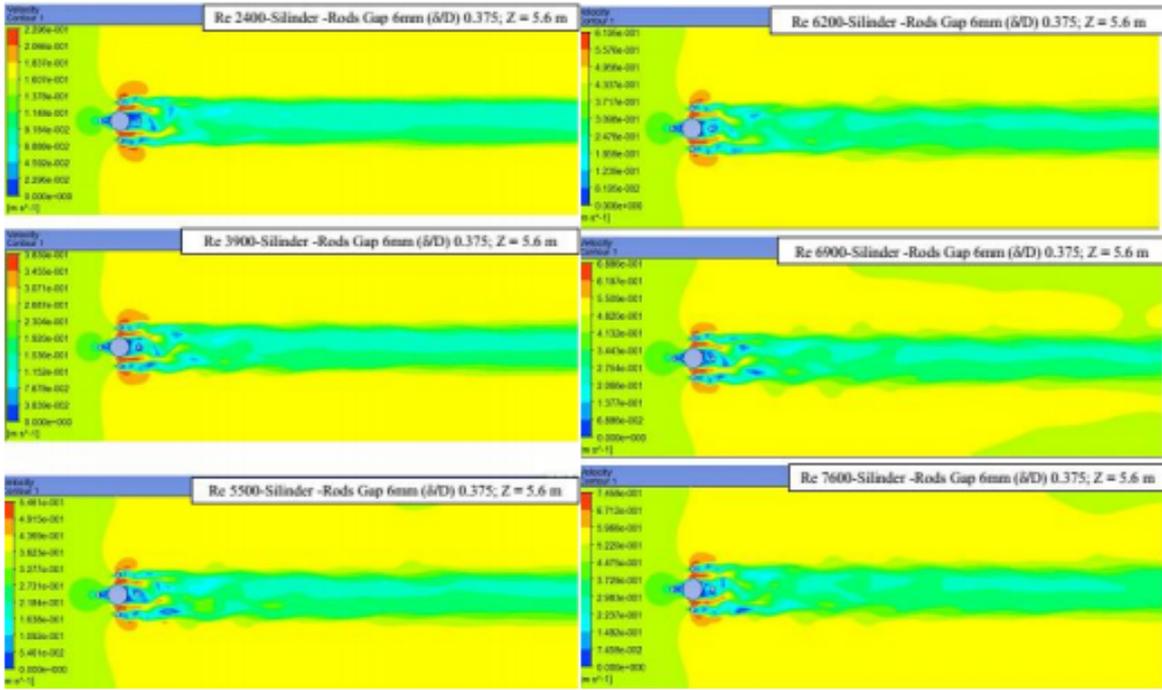
Gambar 6. Pola aliran pada kasus *bare cylinder* dengan variasi nilai Re .

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.

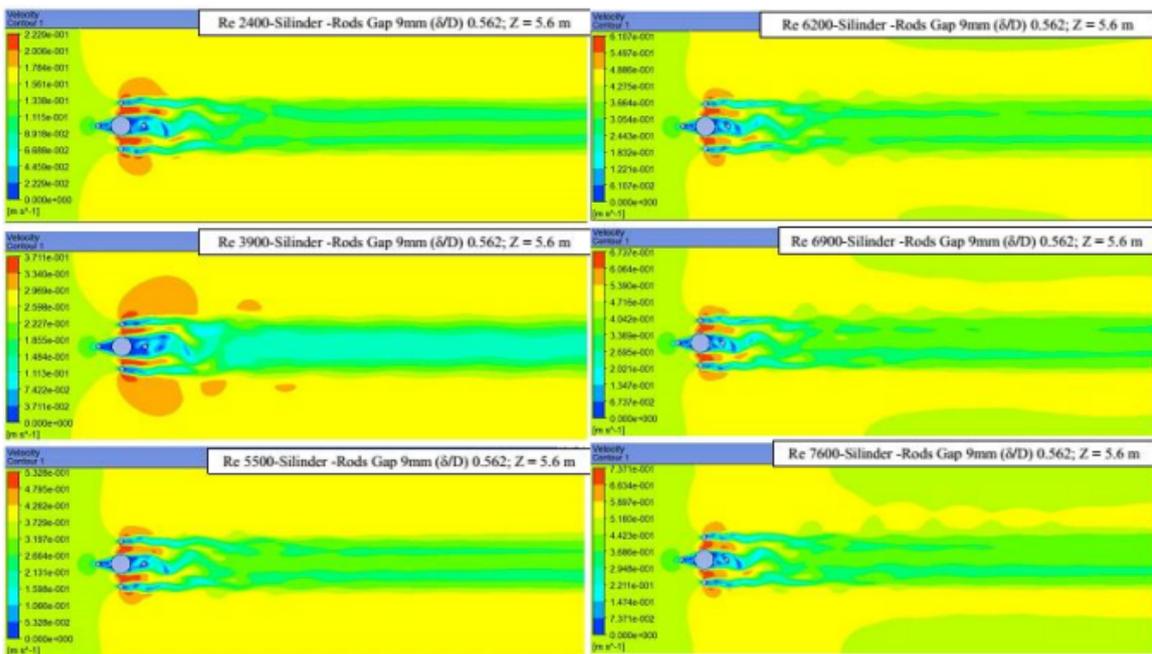
Selanjutnya gerakan aliran *vorticity* yang berlawanan arah jarum jam akan memotong aliran *vorticity* yang men-suplay *Vortex* A, sehingga *Vortex* A terlepas lalu menjadi *vortex* bebas dan terseret aliran ke arah belakang/menjauhi *cylinder*. Setelah *vortex* A terlepas, terbentuklah *vortex* baru 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*.



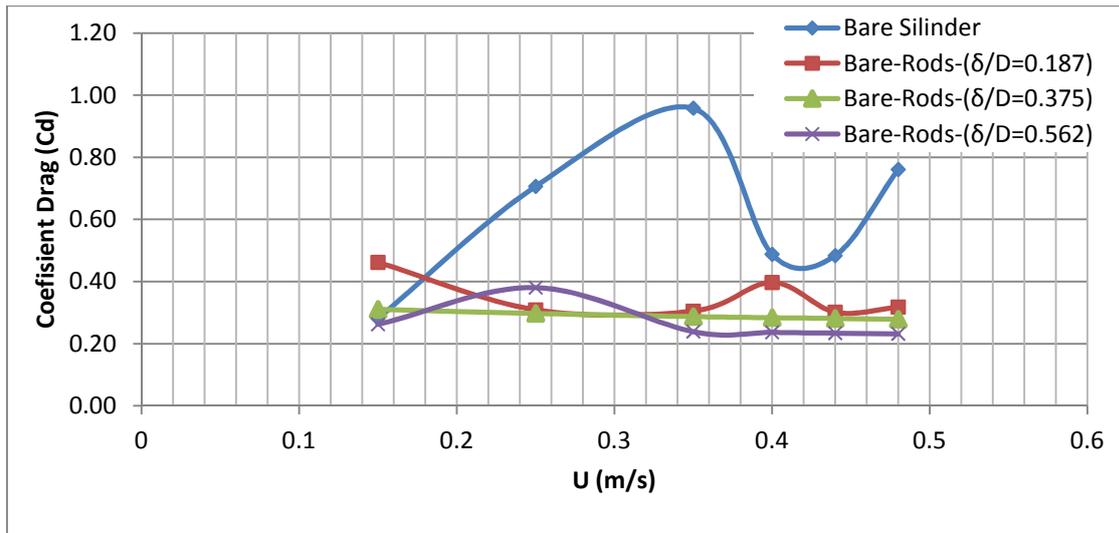
Gambar 7. Pola aliran pada *bare silinder* yang dipasang *Multiple Control Rods* dengan Gap 3mm (δ/D) 0.187



Gambar 8. Pola aliran pada *bare silinder* yang dipasang *Multiple Control Rods* dengan Gap 6mm (δ/D) 0.375

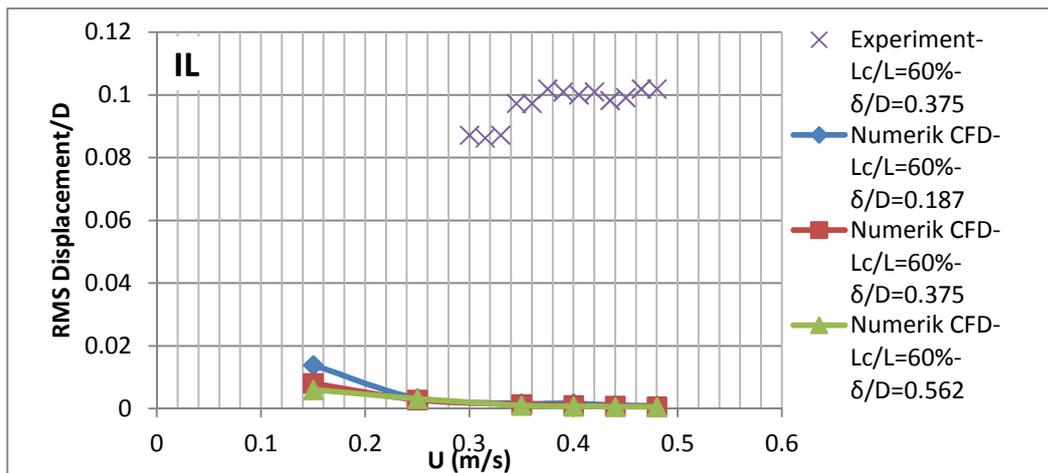


Gambar 9. Pola aliran pada *bare silinder* yang dipasang *Multiple Control Rods* dengan Gap 9mm (δ/D) 0.562



Gambar 10. Nilai Coefisien Drag (C_D) pada silinder dengan Multiple Control rods yang terpasang 60% dari panjang silinder

Pada Gambar 10 memperlihatkan grafik perubahan gaya drag (C_D) dan perubahan gaya lift (C_L) sebagai fungsi perubahan kecepatan arus (U) dengan variasi gap antara bare silinder dan multiple rods. Pada *ratio gap* (δ/D) 0.187, 0.375, dan 0.562, sudah dapat menunjukkan pola penurunan gaya fluida dibawah kurva gaya fluida yang terjadi pada bare silinder. Penurunan gaya drag dan fluida yang signifikan terjadi pada model *multiple control rods* dengan *ratio gap* (δ/D) 0.375 dan 0.562. *Ratio gap* tersebut mampu menurunkan efek gaya drag $\pm 50\%$. Sebaliknya penambahan *rods* dengan variasi gap tersebut menambah gaya lift. Penggunaan *ratio* yang terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya efek *blocking*, aliran fluida akan cenderung sangat turbulen antara silinder uji dan *rods*. Dengan alasan inilah mengapa pada penggunaan gap yang kecil menunjukkan nilai gaya yang besar jika dibandingkan dengan penggunaan gap yang besar. Pada penggunaan *ratio gap* yang besar, aliran fluida akan leluasa melewati silinder uji tanpa adanya efek *blocking* setelah aliran melewati *upstream rods*.



Gambar 11. Perbandingan RMS displacement/D untuk variasi *multiple control rods* dengan $L_c/L=60\%$ untuk arah *in-line flow*

Dari Gambar 11 untuk arah *in-line flow* respon dinamis yang dihasilkan mengalami penurunan seiring perubahan kecepatan. Hal ini sesuai dengan tujuan ditambahkan *multiple control rods* yang merusak pola dari lapisan batas di silinder sehingga skema terbentuknya vortex

dapat dirusak tetapi karena yang digunakan dalam model penelitian ini berbentuk silinder maka terbentuk pola *vortex* baru disekitar *rods*, *vortex* yang terjadi disekitar *rods* tidak terlalu berpengaruh pada silinder karena ukurannya yang kecil dan cara untuk menghindari *vibration* aliran *vortex* yang terjadi pada *rods* dengan mengurangi ukuran panjang *rods* yang dipasang pada silinder.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, dapat di simpulkan sebagai berikut : Dari ketiga variasi *gap* (δ) *multiple rods* terhadap silinder, yaitu 3 mm, 6 mm, dan 9 mm, dimana memberikan perbandingan berturut-turut δ/D 0.187; 0.375; 0.562, dengan panjang *rods* 60% dari panjang struktur, menunjukkan semakin besar *ratio gap* semakin kecil respon dinamis yang ditimbulkan akibat *vortex*. Dilihat dari visualisasi pola aliran dan tren grafik, ukuran *gap* yang memberikan hasil paling optimal pada nilai C_D serta respon dinamis untuk setiap perubahan kecepatan arus (m/s) adalah *gap* 6 mm dengan *ratio gap* $\delta/D= 0.375$. Hal ini sesuai dengan eksperimen laboratorium yang memberikan kesimpulan bahwa *ratio gap* $\delta/D= 0.375$ merupakan ukuran yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bearman, P.W., 2011. *Circular cylinder wakes and vortex-induced vibrations*. Journal of Fluids and Structures 27, 648-658., Elsevier.
- [2] Blevins, R. D. 1990. *Flow Induced Vibration*. Krieger Publishing company, Florida.
- [3] 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.
- [4] Zdravkovich, M.M., 1981. *Review and classification of various aerodynamic and hydrodynamic means for suppressing vortex shedding*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 7, 145-189.
- [5] Wu, H. et al. 2012. *Experimental investigation on suppression of vortex-induced vibration of long flexible riser by multiple control rods, Dalian China*, Elsevier.
- [6] Trim et al. 2005. *Experimental Investigation of Vortex-Induced Vibration of Long Marine Riser*. Journal of Fluids and Structures, Elsevier.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] ANSYS. 2012. *ANSYS Fluent Theory Guide*. ANSYS, Inc. Canonsburg, USA

Halaman ini sengaja dikosongkan