

STUDI EKSPERIMEN *MULTISILINDER VORTEX INDUCED VIBRATION ENERGY CONVERTER (VIVEC)*

Bagus Albaranu Yuliatmoko¹, Setyo Nugroho², Raden Sanggar Dewanto³

^{1,2}Program Studi D4 Sistem Pembangkit Energi, ³Program Studi D4 Teknik Mekatronika, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya, 60111
e-mail : ¹bagusalbaranu@gmail.com, ²setyo@pens.ac.id, ³sanggard@pens.ac.id,

ABSTRACT

One method of water energy utilization is by hydrokinetic method. Vortex-Induced Vibration Energy Converter (VIVEC) is an energy conversion tool that utilizes hydrokinetic energy. VIVEC converts the translational motion / oscillation of a cylinder due to Vortex Induced Vibration (VIV) from the vortex release formed around the cylinder, when the cylinder is hit by a fluid flow at a certain speed. The lift force generated by VIV makes the cylinder experience a cross-flow vibration to produce kinetic energy. There are several parameters that can improve the performance of VIVEC, one of them is the addition of the number of cylinders or the use of multi-cylinders on VIVEC. With the use of multi-cylinders system, the distance between the cylinders need to be considered because the vortex formed from one of the cylinders will affect the frequency of other cylinder oscillations behind it. In this research designed a multi-cylinders VIVEC 2x2 configuration with distance variation ($d / D = 2, 4, \text{ and } 6$). The experimental test was conducted with a fluid velocity of 0.67 m / s ($Re = 50,000$) in a towing tank. From this research obtained the largest amplitude ratio, A / D average is 0.154 on $d / D = 2$. The A / D and Cl values are relatively decreased as the center to center spacing increases.

Keywords : *Hydrokinetic energy, multi-cylinders, vortex induced vibration, vortex induced vibration energy converter.*

INTISARI

Salah satu metode pemanfaatan energi air adalah dengan metode hidrokinetik. Vortex-Induced Vibration Energy Converter (VIVEC) merupakan sebuah alat konversi energi yang memanfaatkan energi hidrokinetik. VIVEC mengkonversi gerak translasi / osilasi sebuah silinder akibat Vortex Induced Vibration (VIV) dari pelepasan vortex yang terbentuk disekitar silinder, ketika silinder ditabrak oleh aliran fluida dengan kecepatan tertentu. Gaya lift yang ditimbulkan oleh VIV membuat silinder mengalami vibrasi cross-flow sehingga menghasilkan energi kinetik. Ada beberapa parameter yang dapat meningkatkan performa dari VIVEC, salah satunya adalah penambahan jumlah silinder atau penggunaan multisilinder pada VIVEC. Dengan penggunaan sistem multisilinder, tentunya jarak antar silinder perlu diperhatikan karena vortex yang terbentuk dari salah satu silinder akan mempengaruhi frekuensi osilasi silinder lain dibelakangnya. Pada penelitian ini dirancang sebuah multisilinder VIVEC dengan konfigurasi 2x2 dengan variasi jarak ($d/D = 2, 4, \text{ dan } 6$). Pengujian secara eksperimen dilakukan dengan kecepatan fluida $0,67 \text{ m/s}$ ($Re=50.000$) pada sebuah towing tank. Dari penelitian ini didapatkan rasio amplitudo, A/D rata – rata terbesar berada pada variasi $d/D = 2$ sebesar $0,154$. Nilai A/D dan Cl relatif menurun seiring dengan meningkatnya center to center spacing.

Kata kunci : Energi hidrokinetik, multisilinder, vortex induced vibration, vortex induced vibration energy converter.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan sumber energi terbarukan terbesar dan termurah di dunia. PLTA juga merupakan cara paling efisien untuk menghasilkan listrik. Sekitar 18% listrik dunia disuplai dari PLTA. Terdapat dua metode dalam pemanfaatan energi air, yaitu *hydrostatic* dan *hydrokinetic*.

Dalam metode *hydrokinetic*, energi kinetik yang dibangkitkan dari gerakan air dalam bentuk arus dan ombak dikonversi langsung menjadi energi listrik tanpa harus membendung air dan tanpa membutuhkan ketinggian. *Hydrokinetic* didesain untuk dapat diaplikasikan pada aliran alami seperti sungai, pasang surut air laut, arus air laut, ombak, dan fasilitas aliran air lain dengan kecepatan yang optimum. (Lago, Ponta, & Chen, 2010). Kelebihan dari *hydrokinetic* yaitu hanya membutuhkan biaya sedikit dalam konstruksinya (Khan, Iqbal, & Quaicoe, 2008) karena dalam *hydrokinetic* tidak dibutuhkan bendungan atau reservoir untuk mengumpulkan air. Selain itu, ketersediaan sumber khususnya aliran sungai dan arus pasang surut lebih mudah diprediksi jika dibandingkan dengan ketersediaan energi angin dan energi surya. (Fraenkel, 2007)

Sebuah konsep inovatif dalam pemanfaatan *hydrokinetic energy* telah ditemukan oleh Professor Michael Bernitsas (2005) di Universitas Michigan. Konsep ini telah direalisasikan menjadi sebuah alat bernama VIVACE (*Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy Converter*) pada tahun 2012. VIVACE Converter merupakan sebuah alat konversi energi. VIVACE mengkonversi gerak translasi / osilasi sebuah silinder yang disebabkan oleh *Vortex Induced Vibration* (VIV) dari pelepasan *vortex* yang terbentuk disekitar silinder, ketika silinder ditabrak oleh aliran fluida dengan kecepatan tertentu. Gaya *lift* yang ditimbulkan oleh VIV membuat silinder mengalami vibrasi *cross-flow* sehingga menghasilkan energi kinetik yang oleh generator akan diubah menjadi energi listrik. VIVACE dapat menghasilkan energi pada kecepatan arus air antara 0,5 knot hingga 5 knot atau lebih. Untuk menghasilkan daya yang maksimal diperlukan amplitudo getaran yang konsisten dan maksimal pula. (Raghavan, 2007)

Penelitian yang dilakukan mengenai VIVACE selama ini terfokus pada konfigurasi silinder tunggal saja. Padahal dalam konsepnya, semakin besar energi kinetiknya maka semakin besar pula daya yang akan dihasilkan. Untuk menjawab konsep tersebut, jumlah silinder ditambahkan pada VIVACE. Selain itu, jarak antara silinder (*center to center*

spacing) juga mempengaruhi gaya yang mengenai masing - masing silinder. Sehingga faktor jarak juga berpengaruh terhadap besarnya amplitudo yang terbentuk (Garcia, 2008)

Dari latar belakang tersebut penelitian ini secara umum akan dibuat sebuah pembangkit getaran yang memanfaatkan VIV dan secara khusus membahas tentang pengaruh *center to center spacing* terhadap performa dari VIVEC tersebut. Konfigurasi multi silinder yang digunakan adalah konfigurasi 2 x 2 yang akan divariasikan jarak antar silindernya. Performa VIVEC ditinjau dari besarnya rasio amplitudo (A/D) dan *lift coefficient* (Cl) yang dihasilkan oleh masing – masing silinder VIVEC.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat Penelitian

VIVEC terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *frame*, *slider*, pegas, dan silinder osilasi. *Frame* berfungsi sebagai penahan silinder osilasi yang ditempatkan di kereta uji pada *towing tank*. *Slider* berfungsi untuk menjaga gerakan osilasi silinder tetap berada pada jalurnya atau tetap berosilasi pada sumbu y.



Gambar 1 (kiri) *Frame* VIVEC, (kanan) sistem *slider* VIVEC

Multisilinder VIVEC terdiri dari 4 buah silinder osilasi yang ditahan oleh pegas yang dikaitkan pada ujung-ujung silinder.



Gambar 2 Sistem VIVEC secara keseluruhan

Silinder osilasi adalah komponen utama pada sistem VIVEC. Silinder osilasi harus dalam keadaan melayang ketika ditempatkan

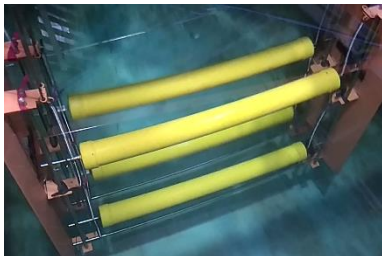
pada *towing tank* agar dapat berosilasi dengan optimal. Silinder menggunakan material PVC berdiameter 2,5" dan panjang 0,85 m. Poros silinder osilasi menggunakan *stainless steel* berbentuk silinder berdiameter 12 mm.

2.2 Pengujian Sistem

Pengujian VIVEC dilakukan pada *towing tank* berukuran 50 m x 3 m x 2 m dengan metode ditarik pada sebuah kereta uji. Alat ukur yang digunakan pada sistem VIVEC adalah sensor *ultrasonic* HC-SR04. Sensor HC-SR04 digunakan untuk merekam *displacement* silinder ketika silinder berosilasi. Dengan sensor ultrasonik, amplitudo silinder juga dapat diketahui.

Data hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 kemudian dikirimkan via *bluetooth* menggunakan modul *bluetooth* HC05. Data yang diterima kemudian direkam menggunakan aplikasi pada HP Android.

Untuk mengukur kecepatan berjalannya kereta uji, digunakan sensor *proximity* yang ditempatkan pada roda kereta uji untuk membaca RPM roda. Data RPM roda kereta uji kemudian ditampilkan pada sebuah LCD *display*.



Gambar 3 (atas) Sistem pengujian VIVEC pada kereta uji *towing tank*, (bawah) sistem sensor pada VIVEC

Parameter pengujian VIVEC secara eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Tabel parameter pengujian VIVEC

Parameter	Nilai	Satuan
Fluida		
Densitas (ρ)	998,2	kg/m ³
Kecepatan Fluida (v)	0,67	m/s
Silinder Osilasi		
Diameter (D)	0,075	M
Panjang (L)	0,85	M
<i>Aspect Ratio</i> (L/D)	11,3	
Volume (V)	$3,755 \times 10^{-3}$	m ³
Luas <i>Cross Section</i> (A)	$6,375 \times 10^{-2}$	m ²
<i>Spring Stiffness</i> (k)	15	N/m

2.3 Analisa Perhitungan

Untuk melakukan analisis VIVEC, sebelumnya perlu mencari parameter-parameter diantaranya adalah

a. Mengukur Amplitudo Osilasi

Amplitudo dapat didefinisikan sebagai jarak terjauh dari gradien kesetimbangan dalam gelombang sinusoidal. Nilai amplitudo osilasi dari silinder didapatkan dari pengukuran sensor ultrasonik pada ekstensi yang terpasang dari silinder.

b. Menghitung *Lift Coefficient* (C_L)

Lift Coefficient adalah bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan *lift force* yang dihasilkan oleh sebuah benda pada kondisi tertentu. Parameter yang mempengaruhi diantaranya adalah densitas fluida di sekitar benda, kecepatan fluida, dan luas dari *surface* yang terkena aliran fluida. *Lift coefficient* dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana:

C_L : *Lift Coefficient*

F_L : *Lift Force* (N), nilai F_L didapatkan dari gaya yang terjadi pada pegas saat osilasi terjadi dan dapat dicari menggunakan rumus $F = kx$. Dimana k adalah *spring rate* dari pegas dan x adalah defleksi yang terjadi. Besarnya defleksi didapat dari pengukuran amplitudo yang telah dilakukan

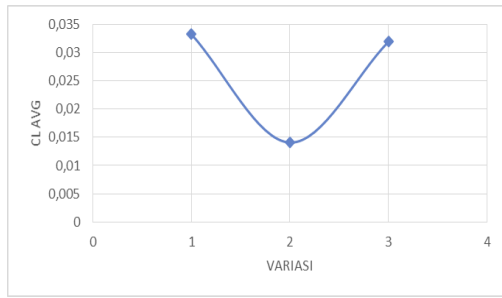
ρ : Densitas fluida (kg/m³)

A : *Cross section area* (m²)

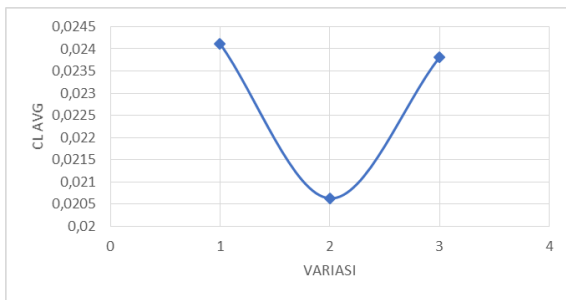
v : Kecepatan fluida (m/s)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

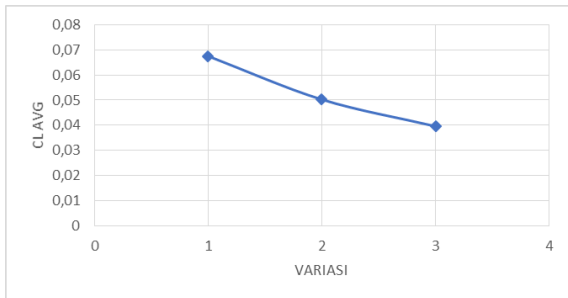
3.1 Pengaruh *center to center spacing* terhadap *lift coefficient* (CI)



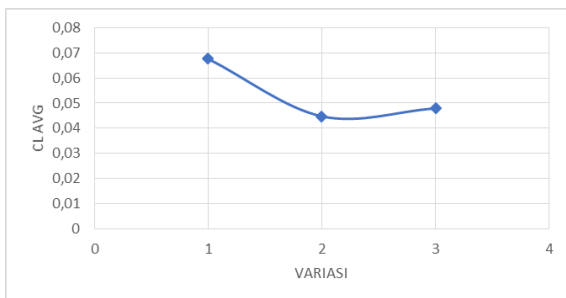
Gambar 4 Grafik CI rata-rata silinder DA setiap variasi



Gambar 4 Grafik CI rata-rata silinder DB setiap variasi



Gambar 5 Grafik CI rata-rata silinder BA setiap variasi

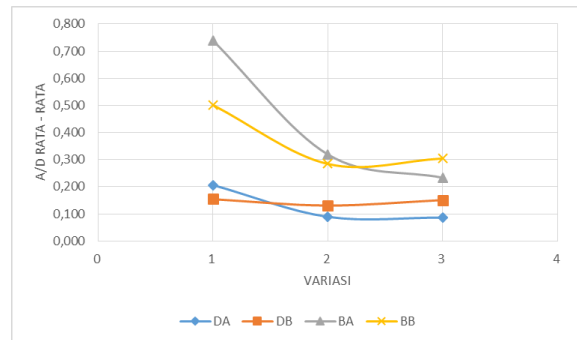


Gambar 6 Grafik CI rata-rata silinder BB setiap variasi

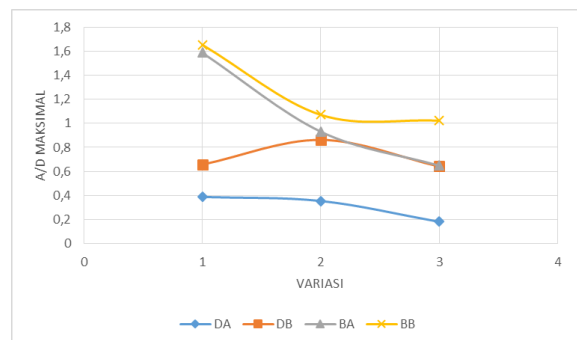
Gambar 4, gambar 5, gambar 6, dan gambar 7, menunjukkan nilai rata - rata *lift*

coefficient (CI) masing – masing silinder pada tiap variasi melalui pengujian secara eksperimen. Silinder DA dan DB memiliki nilai CI rata – rata yang fluktuatif seiring dengan meningkatnya jarak antar silinder. Nilai CI rata – rata terkecil terdapat pada variasi $d/D = 4$. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5. Sedangkan untuk silinder BA dan silinder BB, memiliki nilai CI rata – rata yang menurun seiring dengan peningkatan jarak antar silinder. Penurunan nilai CI pada silinder BA dan BB dengan semakin meningkatnya jarak antar silinder sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Assi, Bearman, & Meneghini, 2010) yang menyatakan bahwa amplitudo osilasi menurun dengan semakin meningkatnya jarak logitudinal karena pusaran yang terbentuk dari silinder depan lebih membaaur saat jarak antar silinder meningkat, sebagai gantinya, *lift force* (FI) juga semakin menurun. Secara keseluruhan, jarak antar silinder memiliki pengaruh terhadap *lift coefficient* (CI) dari masing – masing silinder. Variasi jarak terdekat $d/D = 2$ memiliki nilai CI rata – rata tertinggi jika dibandingkan dengan variasi jarak lainnya

3.2 Pengaruh *center to center spacing* terhadap rasio amplitudo (A/D)



Gambar 7 Grafik perbandingan A/D rata-rata tiap variasi



Gambar 8 Grafik perbandingan A/D maks tiap variasi

Berdasarkan gambar 9 dapat diketahui bahwa silinder dengan posisi vertikal yang sama memiliki tren grafik yang hampir sama. Silinder

depan-atas (DA) dan silinder belakang-atas (BA) memiliki nilai A/D yang cenderung menurun seiring dengan peningkatan jarak antar silinder. Sedangkan, untuk silinder depan-bawah (DB) dan silinder belakang-bawah (BB) memiliki tren grafik yang fluktuatif dimana pada variasi $d/D = 4$ nilai A/D mengalami penurunan.

Secara keseluruhan, kecenderungan respon dari silinder belakang (BA dan BB) selalu memiliki nilai A/D rata-rata dan A/D maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan silinder depan (DA dan DB) baik pada posisi atas maupun bawah. Hal ini menunjukkan bahwa adanya silinder depan memberikan pengaruh atau adanya interferensi terhadap silinder dibelakangnya. Pengaruh tersebut salah satunya berasal dari pelepasan *vortex* yang terbentuk dari silinder depan yang dapat mempengaruhi silinder belakang apabila posisi silinder belakang sejajar dengan silinder depannya ataupun mendekati silinder depannya. *Vortex* yang terbentuk dari silinder belakang membuat perlakuan yang diterima oleh silinder belakang berbeda dengan silinder depannya, karena *vortex* tersebut dapat mengubah vektor kecepatan aliran fluida yang mempengaruhi silinder belakang, sehingga respon dari silinder belakang jauh berbeda dibandingkan dengan silinder depan. Dengan adanya fenomena tersebut, membuat semakin dekatnya jarak antar silinder menyebabkan rasio amplitudo, A/D semakin meningkat pada tugas akhir ini dan menunjukkan bahwa respon dari silinder belakang sensitif terhadap jarak antar silinder.

Hasil yang didapat pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Copper dan Wardlaw (1971) yang mengamati bahwa osilasi yang terjadi pada silinder belakang yang terjadi akibat *wake* yang terbentuk pada silinder depan akan terus terjadi hingga jarak antar pusat silinder ($d/D=20$). Selain itu, (S. Kim & Alam, 2009) melakukan penelitian secara eksperimen *flow induced motion* (FIM) pada dua silinder osilasi yang disusun secara tandem dengan variasi jarak antar silinder. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa amplitudo maksimum dari kedua silinder secara signifikan dipengaruhi oleh jarak celah antar silinder. Jika semakin rendahnya celah antar silinder dapat meningkatkan osilasi yang terjadi, maka dapat pula meningkatkan *power density* dari VIVACE. Selain itu, (E. S. Kim, 2011) menyatakan bahwa pada $d/D \geq 2,57$, nilai A/D maksimum dan region sinkronisasi menurun seiring dengan meningkatnya jarak antar silinder, dan A/D maksimum terjadi pada *reduced velocity*, U^* , yang lebih tinggi dan

kekakuan pegas yang rendah. Namun pada tugas akhir ini tidak melakukan perubahan terhadap kekakuan pegas, k , nilainya konstan sebesar 15 N/m.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian simulasi dan analisa yang telah dilakukan berikut, dapat disimpulkan bahwa *center to center spacing* berpengaruh terhadap performa VIVEC yang ditinjau dari rasio amplitudo, A/D dan *lift coefficient*, Cl , yang dihasilkan oleh masing-masing silinder VIVEC

- Nilai rasio amplitudo, A/D , berbanding terbalik dengan *center to center spacing*. Semakin dekat jarak antar silinder, maka didapatkan nilai A/D yang semakin tinggi.
- Nilai *lift coefficient* semakin menurun seiring dengan peningkatan jarak antar silinder pada silinder belakang (BA dan BB) dan fluktuatif pada silinder depan (DA dan DB)
- Silinder belakang (BA dan BB) memiliki respon yang lebih baik dibandingkan dengan silinder depan (DA dan DB) pada semua variasi jarak

DAFTAR PUSTAKA

- Assi, G. R. S., Bearman, P. W., & Meneghini, J. R. (2010). On the wake-induced vibration of tandem circular cylinders: The vortex interaction excitation mechanism. *Journal of Fluid Mechanics*, 661(2010), 365–401
- Fraenkel, P. L. (2007). Marine current turbines: Pioneering the development of marine kinetic energy converters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 221(2), 159–169
- Garcia, E. M. (2008). Prediction by Energy Phenomenology for Harnessing Hydrokinetic Energy Using Vortex-Induced Vibrations by. *Scientist*
- Khan, M. J., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2008). River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2177–2193
- Kim, E. S. (2011). *Synergy of Multiple Cylinders In Flow Included Motion For Hydrokinetic Energy Harvesting*
- Kim, S., & Alam, M. M. (2009). Free vibration of two identical circular cylinders in staggered arrangement. *Fluid Dynamics Research*, 41(3)

Lago, L. I., Ponta, F. L., & Chen, L. (2010). Advances and trends in hydrokinetic turbine systems. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 287–296

Raghavan, K. (2007). Energy Extraction from a Steady Flow Using Vortex Induced Vibration, 344