

Studi Pengaruh Variasi Jarak pada Konfigurasi Oscillating Parts Pembangkit Listrik Energi Vortex

Hana Qudsiyah⁽¹⁾, Mukhtasor⁽²⁾, Rudi Walujo⁽³⁾

¹Mahasiswa Teknik Kelautan, ^{2,3}Staf Pengajar Teknik Kelautan

Abstrak

Selama ini para peneliti berusaha untuk meredam *Vortex Induced Vibration* (VIV) karena menyebabkan terjadinya getaran pada struktur. Disamping mempunyai dampak buruk, ternyata VIV juga dapat membangkitkan listrik dengan memanfaatkan energi kinetik dari vibrasi struktur yang ditimbulkan. Pembangkit listrik energi vortex adalah konsep baru dalam bidang *renewable energy*. Tugas akhir ini memfokuskan bahasan tentang *oscillating part* majemuk pada pembangkit listrik energi vortex. Variasi jarak antar konfigurasi *oscillating part* akan menghasilkan perbedaan amplitudo yang terjadi. Konfigurasi yang dibandingkan adalah sejajar vertikal dan segitiga. Variasi nilai rasio jarak, G/D mulai dari 2 sampai 5 dengan kecepatan arus 0,5; 0,75 dan 1 m/s. Dengan bantuan software *Computational Fluida Dynamic* dilanjutkan dengan perhitungan manual menggunakan persamaan dinamika struktur, akan didapatkan nilai amplitudo pada *oscillating part*. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa nilai G/D berbanding lurus dengan amplitudo yang dihasilkan. Semakin besar G/D, amplitudo yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan nilai frekuensi konstan terhadap variasi G/D. Uji hipotesis mengenai rata-rata dua populasi menunjukkan bahwa konfigurasi vertikal sejajar dan segitiga mempunyai kinerja yang sama.

Kata-kata kunci : *Oscillating part, Cross-flow, Vortex Induced Vibration, Konfigurasi sejajar vertikal, Konfigurasi segitiga*

1. PENDAHULUAN

Era energi terbarukan telah tiba (Sims, 2004). Sebuah konsep inovatif untuk memanfaatkan air menjadi tenaga listrik telah ditemukan oleh Michael Bernitsas, dkk dari Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan (Bernitsas and Raghavan 2004). Konsep tersebut dinamakan Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energi (VIVACE). Struktur paling sederhana dari pembangkit listrik energi vortex ini terdiri dari satu rigid silinder yang ditopang oleh *elastis support* semisal pegas.

Silinder, yang selanjutnya akan disebut *oscillating part*, dihubungkan dengan *power take-off system* dan di tempatkan pada aliran steady (Bernitsas dkk, 2006). Gaya lift yang ditimbulkan oleh VIV membuat silinder mengalami vibrasi *cross-flow* sehingga menghasilkan energi kinetik yang oleh generator akan diubah menjadi energi listrik. Permasalahan akan semakin kompleks untuk mencari energi maksimal yang dihasilkan pada beberapa *oscillating part* dengan susunan tertentu.

Jarak antar silinder menjadi salah satu faktor yang sangat penting untuk memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit listrik energi vortex. Penelitian yang telah dilakukan selama ini terfokus pada pembangkit listrik energi vortex dengan *oscillating part* tunggal. Padahal,

untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar tentunya dibutuhkan energi kinetik yang lebih besar pula.

Konsep tersebut dapat dicapai dengan cara menambah jumlah silinder pada pembangkit listrik energi vortex. Jarak antar silinder, akan mempengaruhi gaya yang mengenai masing-masing *oscillating part*. Sehingga faktor jarak jugalah yang menentukan besarnya amplitudo yang terjadi pada *oscillating part* (Gracia, 2008).

Tugas akhir ini akan menganalisa pengaruh variasi jarak, G/D (G = gap antar *oscillating part* dan D = diameter *oscillating part*), pada konfigurasi *oscillating parts*. Dua konfigurasi yang diteliti adalah konfigurasi sejajar vertikal dan segitiga. Nantinya akan dibandingkan kinerja antara dua konfigurasi tersebut. Simulasi numerik dilakukan pada nilai kisaran nilai Re $0,44 - 1,34 \times 10^5$.

2. DASAR TEORI

2.1. Vortex Induced Vibration

Vortex adalah suatu aliran dimana fluida tersebut partikelnya berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusatnya. Pelepasan vortexnya disebut dengan *vortex shedding*, yang mempunyai kecepatan transversal dan tangensialnya konstan dan bervariasi terhadap radiusnya (Indiyono, 1994). Akibat adanya *vortex shedding* ini, pipa yang dilalui aliran fluida

terkena distribusi tekanan lokal akibat adanya tekanan tersebut, maka pipa akan bergetar atau beresonansi dengan frekuensi tertentu. Osilasi ini akan menyebabkan kelelahan dan dapat mengakibatkan kegagalan.

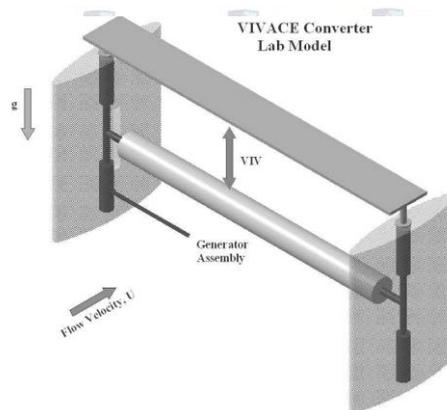
Dengan adanya pelepasan vortex dapat menimbulkan gaya angkat (*lift force*) dan gaya drag (*drag force*) pada silinder. gaya angkat mempunyai arah tegak lurus terhadap silinder sedangkan gaya drag mempunyai arah sejajar dengan silinder. Karena pergantian *vortex wake* (Karman Street) maka osilasi gaya angkat terjadi pada frekuensi pelepasan vortex dan gaya drag terjadi pada dua kali frekuensi pelepasan vortex.

2.2. VIVACE Converter (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energi)

Untuk seluruh alat konversi energi, terdapat enam kriteria yang harus dipenuhi. Yaitu dapat menangkap *energy desity* yang cukup besar, terdiri dari komponen yang simpel, membutuhkan perawatan yang seminimal mungkin, harus cocok dengan kondisi lingkungan, dana yang dikeluarkan harus lebih rendah dari target, umur operasi alat konversi harus berkisar diantara sepuluh hingga dua puluh tahun (Bernitsas dkk, 2006).

Percobaan fisik yang telah dilakukan menunjukkan VIVACE dapat memenuhi enam kriteria tersebut. Dimulai dari terjadinya VIV pada *Oscillating part* mengakibatkan timbulnya gaya angkat sehingga silinder mulai bergerak tegak lurus terhadap arah datang arus. Gerakan osilasi tersebut terhubung dengan bearing yang berguna menjaga kehalusan gerakan *Oscillating part* terhadap *gear belt*. Karena gear belt terhubung dengan ujung gear yang berbentuk lingkaran. Generator yang mendapatkan gerakan rotasi dari gear langsung dihubungkan dengan rotor, sehingga mampu menghasilkan listrik.

Percobaan fisik mengenai VIVACE telah dilakukan oleh (Bernitsas dkk, 2006). Pengujian ini dilakukan pada Marine Hydrodynamics Laboratory of the University of Michigan. Pada percobaan ini didapatkan pada arus sebesar 0,84 m/s, energi listrik yang berhasil dihasilkan oleh VIVACE adalah sebesar 51W/m³. Ini berarti listrik yang dihasilkan lebih tinggi 3-10 kali dari alat konversi energi arus dan 2-5 kali lebih tinggi dari alat konversi energi lainnya. Pada penelitian ini, tercatat energi listrik yang paling maksimal dihasilkan sebesar 86W/m³.



Gambar 1. VIVACE dengan *Oscillating Part* tunggal (Raghavan, 2006).

Sruktur paling sederhana dari pembangkit listrik energi vortex ini terdiri dari satu rigid silinder yang ditopang oleh elastis support semisal pegas. Dapat dilihat pada gambar 1.

2.3. Respon Dinamis

Pada dasarnya struktur yang bergetar akan mengalami 2 macam getaran yaitu, getaran alami dan getaran paksa, persamaannya adalah (Craig,1981) :

$$u = u_c + u_p \tag{1}$$

dengan
 u = respon total
 u_c = respon alami
 u_p = respon paksa

Hukum newton yang digunakan untuk menurunkan persamaan gerak adalah hukum newton I dan II, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Sigma F_x = 0 \text{ dan } \Sigma F_x = m \ddot{u} \tag{2}$$

Dengan :
 ΣF_x = resultan gaya (N)
 m = massa (kg)
 \ddot{u} = percepatan (m/s²)

dari persamaan diatas akan mendapatkan persamaan gerak umum

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = P(t) \tag{3}$$

Sistem yang ada dianggap memiliki massa dalam satu kesatuan terpusat serta gerakan yang digunakan adalah *one degree of freedom*. Untuk mencari total respon dinamis silinder digunakanlah persamaan *harmonic steady state respon*, yaitu :

$$u = U \cos(\Omega t - \alpha) + e^{-\zeta \omega_n t} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t) \quad (4)$$

Dengan:

- u = total respons (m)
- U = *steady state response* (m)
- Ω = frekuensi eksitasi (rad/s)
- t = waktu (s)
- α = sudut fase (rad)
- ω_d = frekuensi angular teredam (rad/s)
- A_1 = konstanta riil
- ω_n = frekuensi angular tak teredam (rad/s)
- A_2 = konstanta riil

2.4. Analisis FFT (Fast Fourier Transform)

Proses pembentukan gelombang secara kontinu menunjukkan bahwa suatu *time history* gelombang yang diambil dalam waktu T_H dapat dinyatakan dalam deret Fourier:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (5)$$

Dengan harga-harga frekuensi:

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_H} \text{ (rad/s) untuk } n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (6)$$

Koefisien A_n dan B_n diberikan sebagai:

$$A_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \cos(\omega_n t) dt$$

$$B_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \sin(\omega_n t) dt \quad (7)$$

Sehingga, Persamaan (7) dapat disederhanakan menjadi :

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{n0} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (8)$$

Dengan :

$$\zeta_{n0} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$\varepsilon_n = a \tan\left(-\frac{B_n}{A_n}\right) \quad (9)$$

2.5 Uji Hipotesis mengenai nilai rata-rata dua variabel

Hipotesis merupakan kebenaran sementara yang perlu diuji kebenarannya oleh karena itu hipotesis berfungsi sebagai kemungkinan untuk menguji kebenaran suatu teori.

Jika hipotesis sudah diuji dan dibuktikan kebenarannya, maka hipotesis tersebut menjadi suatu teori. Jadi sebuah hipotesis diturunkan dari suatu teori yang sudah ada, kemudian diuji kebenarannya dan pada akhirnya memunculkan teori baru.

Pada kasus perbandingan kinerja antara konfigurasi sejajar vertikal dan segitiga uji statistik yang digunakan adalah Uji dua sample independen. Karena jumlah sample kurang dari tiga puluh maka digunakanlah uji t, atau disebut juga 2-sample t.

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{(\sigma_1/n_1) + (\sigma_2/n_2)}} \quad (10)$$

Dengan

$$\mu_1 - \mu_2 = d_0 \quad (11)$$

3. METODOLOGI

3.1. Identifikasi parameter

Data-data yang digunakan bersumber dari jurnal yang sekaligus digunakan untuk proses validasi yaitu *The VIVACE Converter: Model Test at High Damping and Reynolds Number Around 10^5* oleh Bernitsas dkk, 2006. Data – data tersebut adalah :

Parameter oscillating part :

- a. Panjang = 0,9144 m
- b. Diameter = 0,1257 m
- c. Aspek rasio = 7,274
- d. Massa = 16,79 kg
- e. Massa tambah = 11,58 kg
- f. Konstanta pegas = 518 N/m
- g. Damping = 0.005939

Parameter lingkungan:

- a. Viskositas kinematis = $1,13899 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- b. Suhu fluida = 15°C

