

Pengaruh Resonansi Terhadap Perubahan Efisiensi Perangkat Oscillating Water Column (OWC)

Jahirwan Ut Jasron¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597
E-mail: jasron_unc@ymail.com

ABSTRAK

Oscillating water column (OWC) merupakan jenis konverter energi gelombang yang paling menjanjikan untuk diaplikasikan karena struktur mekaniknya yang sederhana. Untuk menghasilkan efisiensi konversi energi yang maksimal frekuensi gelombang insiden dan frekuensi alamiah struktur perangkat harus beresonansi. Dalam tulisan ini dibahas beberapa faktor penyebab terjadinya resonansi seperti periode gelombang insiden dan perbandingan panjang dinding depan yang terendam dengan panjang bukaan saluran masuk (a/c) dan efeknya terhadap efisiensi OWC. Hasil pengujian menjelaskan bahwa terjadi kondisi resonansi yang pada rasio perbandingan a/c sebesar 0,67 pada periode gelombang 1,3 s menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 24,13 %.

ABSTRACT

Oscillating water column (OWC) is the most promising wave energy converter to be applied because of its simple mechanical structure. To achieve maximum energy conversion efficiency, the device structure's incident wave frequency and natural frequency must be resonant. This paper discusses several factors that cause resonance, such as the incident wave period and the comparison of the length of the submerged front wall with the size of the inlet opening (a/c) and their effect on the efficiency of the OWC. The test results explain a resonance condition in which the a/c ratio of 0.67 in the wave period of 1.3 s produces a maximum efficiency of 24.13%.

Keywords: OWC, resonance, wave frequency, natural frequency.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan diyakini dapat memainkan peranan yang sangat penting untuk mengatasi masalah semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar yang menyebabkan pencemaran lingkungan [1]. Energi gelombang laut adalah salah satu sumber energi terbarukan yang cukup signifikan [2], karena sangat sedikit memberikan dampak terhadap lingkungan [3].

Jenis wave energy converter (WEC) yang telah diusulkan dan dipatenkan jumlahnya terus meningkat seiring dengan semakin mendesaknya penggunaan energi gelombang laut [4]. Jenis oscillating water column (OWC) adalah yang paling banyak diteliti karena bentuk struktur mekaniknya yang sederhana [5]. Namun demikian teknologi OWC belum sepenuhnya dapat dikomersialkan [6].

Kemampuan penyerapan energi gelombang oleh perangkat OWC sangat tergantung pada (1) karakteristik gelombang laut [7], (2) parameter geometri perangkat [8], serta (3) sistem saluran buang [9]. Ketiga faktor ini saling mempengaruhi dan menentukan efisiensi perangkat.

Para peneliti telah melakukan penelitian baik secara eksperimen maupun numerik untuk terus menyempurnakan konsep OWC sehingga mencapai kinerja optimum. Ashlin et.al (2016) meneliti pengaruh bentuk dasar kolom perangkat OWC dengan menerapkan empat model. Hasil penelitian menyatakan bahwa bentuk dasar model kurva melingkar menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan datar maupun dengan kemiringan tertentu [10]. Chang et.al (2016) mencoba melakukan desain geometri perangkat OWC dengan mengubah kemiringan dinding belakang perangkat, dinding depan, dan parameter lebar bukaan

pintu masuk perangkat. Penelitian ini menegaskan bahwa perangkat OWC dengan dinding depan kemiringan 0° dan dinding belakang dengan kemiringan 26° menghasilkan efisiensi yang lebih baik [11]. Ning et.al [12] melakukan perbandingan hasil model numerik yang sudah dipublikasikan [13] dengan melakukan eksperimen untuk menganalisa kinerja hidrodinamika perangkat OWC pada berbagai kondisi gelombang. Hasil penelitian menyatakan bahwa tinggi gelombang sedikit berpengaruh terhadap frekuensi resonansi dan efisiensi hidrodinamik. Namun, efisiensi hidrodinamika meningkat terlebih dahulu ke nilai tertinggi dan kemudian menurun dengan meningkatnya tinggi gelombang. Efisiensi hidrodinamika menurun dengan cepat pada frekuensi resonansi. Vyzikas et.al [14] melakukan penelitian yang menggunakan empat model OWC menyatakan bahwa model U-OWC seperti yang dikembangkan oleh Boccotti [15] lebih baik dari OWC konvensional. Selanjutnya model U-OWC dengan kemiringan ternyata memiliki kinerja yang relative lebih baik untuk berbagai kondisi gelombang. Pada penelitian yang lain Mahnamfar et.al [16] menyatakan bahwa desain OWC klasik dengan kemiringan dinding depan 40° menunjukkan efisiensi yang lebih baik untuk semua desain yang diuji secara eksperimental. Sementara itu Wang et.al [17] yang menganalisa viskositas pada kondisi batas permukaan bebas dinamis sebagai validasi efek non liner pada kinerja hidrodinamik perangkat OWC menyatakan bahwa efisiensi meningkat oleh ketidaklinieran ketika gelombang datang mempunyai amplitudo yang sangat kecil. Ketika amplitudo gelombang datang sangat besar maka efisiensi menurun terutama disebabkan oleh transmisi yang lemah dari komponen gelombang harmonik orde dua karena mempunyai nonlinearitas yang kuat.

Kajian di atas menunjukkan bahwa sejumlah pengujian telah dikembangkan dan diterapkan untuk memahami kinerja hidrodinamik perangkat OWC. Namun demikian studi eksperimental serta evaluasinya masih perlu untuk dilakukan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan uji ekperimental seri gelombang dengan perioda gelombang yang berbeda. Efek karakteristik seri gelombang ini terhadap kinerja perangkat kemudian akan dianalisa dengan mempertimbangkan kedalaman air, perbandingan panjang dinding yang terendam dan besar bukaan saluran masuk pada perangkat OWC. Kondisi pengujian akan diupayakan mencapai resonansi yang akan menghasilkan pola perpindahan muka air dalam kolom air, perubahan tekanan udara di dalam kolom udara serta kecepatan udara melalui saluran buang. Hasil analisis akan menunjukkan pengaruh resonansi terhadap kinerja perangkat terhadap setiap seri gelombang

METODE PENELITIAN

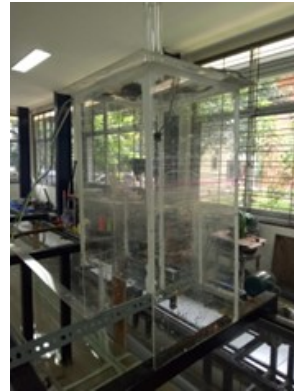
Pengujian dilakukan dengan menggunakan kanal terbuka yang dilengkapi dengan perangkat pembuat gelombang tipe piston. Dinding kanal terbuat dari bahan akrilik transparan sehingga dapat diamati propagasi gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



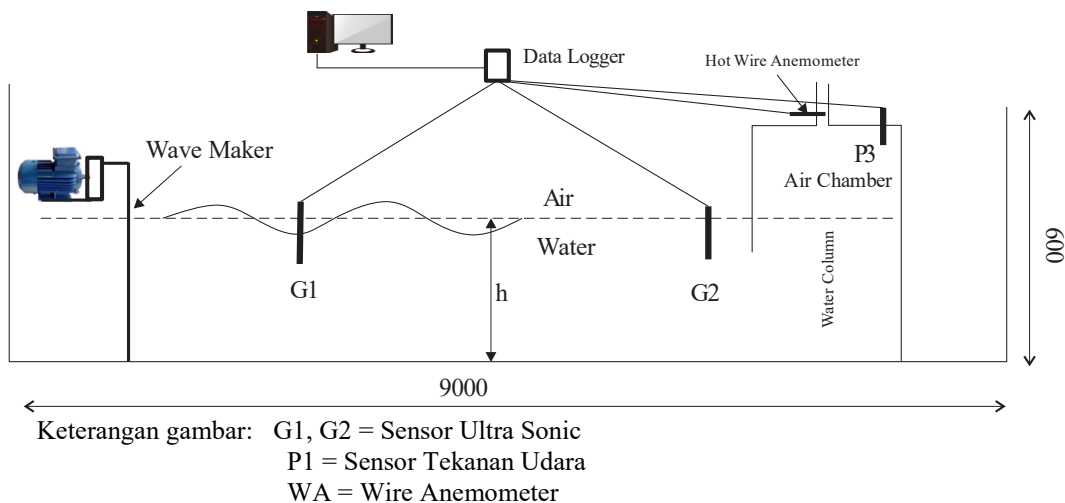
Gambar 1. Photo kolam pengujian

Untuk mengukur tinggi gelombang yang terbentuk dan besarnya fluktuasi muka air dalam kolom digunakan sensor ultrasonic sedangkan perubahan tekanan udara dalam kolom udara diukur dengan sensor tekanan udara. Ketinggian gelombang direkam tanpa perangkat OWC dalam kanal sehingga pantulan gelombang pada struktur OWC dapat dihindari. Selanjutnya udara yang terkompresi akan bergerak ke atmosfer

melalui saluran buang yang berbentuk silindris. Kecepatan udara pada saluran ini diukur dengan menggunakan hot wire anemometer. Desain perangkat OWC berbentuk persegi mengikuti ukuran yang disarankan oleh Bouali [18] dan strukturnya terbuat dari bahan akrilik sehingga fluktuasi muka air dalam kolom dapat diamati dengan ukuran 25 cm x 25 cm x 52 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Perangkat diposisikan pada kanal terbuka dilengkapi dengan semua alat ukur yang akan digunakan yang diatur seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tabel 2. Parameter penelitian dan asumsi



Gambar 2. Photo perangkat OWC



Keterangan gambar: G1, G2 = Sensor Ultra Sonic
P1 = Sensor Tekanan Udara
WA = Wire Anemometer

Gambar 3. Skema instalasi alat uji

Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan empat variasi kedalaman air yaitu 20, 22, 24, dan 26 cm dengan rentang perioda gelombang dari 1 sampai 3 detik. Semua data direkam dengan sensor kemudian diubah dengan data logger lalu disimpan dalam CPU unit computer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Panjang gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan 1. [16] :

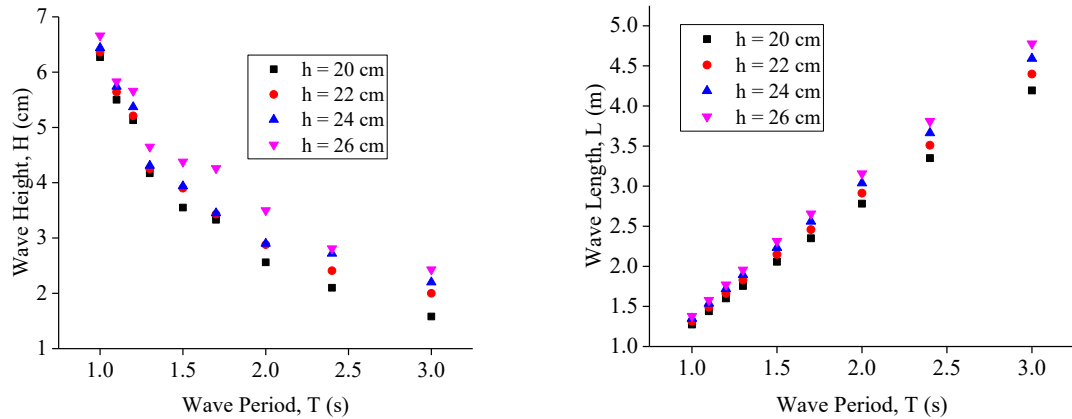
$$L \approx \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 h}{T^2 g}\right)} \quad (1)$$

Tinggi gelombang (H), perioda gelombang (T), dan panjang gelombang (L) untuk 4 kedalaman air (h) ditunjukkan pada Gambar 4.

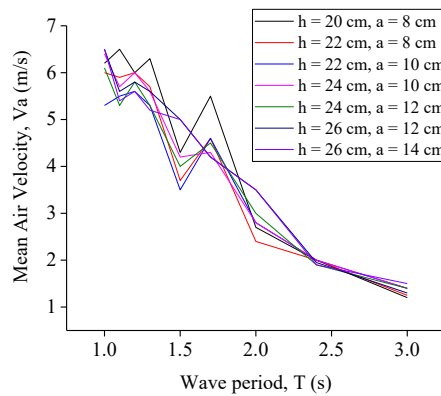
Untuk menganalisa efisiensi maksimum perangkat OWC, pengukuran dilakukan dengan dua jenis pengujian yaitu dengan luas saluran masuk yang sama dan luas saluran masuk yang berbeda untuk setiap kedalaman air. Penyetelan luas bukaan saluran masuk dilakukan dengan perubahan panjang dinding depan yang terendam (a) pada kolom air perangkat. Kondisi ini akan menghasilkan massa kolom air yang berbeda-beda sehingga memungkinkan perubahan frekuensi alamiah struktur OWC yang mengakibatkan pola

perubahan fluktuasi muka air dalam kolom dan perubahan tekanan udara dalam kolom udara serta perubahan kecepatan aliran udara

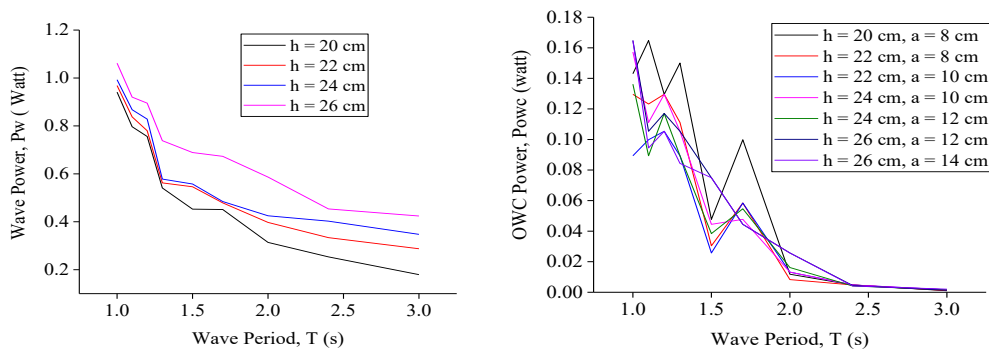
keluar melalui saluran buang untuk masing-masing seri gelombang dapat tercapai.



Gambar 4. Variasi Tinggi dan Panjang Gelombang untuk beberapa kedalaman air



Gambar 5. Kecepatan udara rata-rata untuk semua pengujian



Gambar 6. Daya Gelombang dan Daya perangkat OWC untuk beberapa kedalaman air dan panjang dinding depan yang terendam.

Hasil nilai rata-rata pengukuran kecepatan udara melalui saluran buang untuk semua pengujian disajikan pada Gambar 5. Selanjutnya daya yang dihasilkan setiap seri gelombang (P_w) dihitung dengan persamaan 2, daya yang diserap oleh perangkat OWC (P_{owc}) dihitung dengan persamaan 3, dan efisiensi dari perangkat OWC (η_{owc}) dihitung dengan persamaan 4, kemudian hasil perhitungan daya gelombang dan daya perangkat disajikan pada Gambar 6.

$$P_w = \frac{1}{32\pi} \rho_w g^2 H^2 T \cdot w \quad (2)$$

dimana ρ_w adalah massa jenis air (kg/m^3), g adalah gaya gravitasi (m/det^2), dan w adalah lebar chamber OWC (m).

$$P_{owc} = V \left(\rho_a \frac{v^2}{2} \right) \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (3)$$

dimana V adalah kecepatan udara keluar saluran buang (m/s), ρ_a adalah massa jenis udara (kg/m^3), dan D adalah diameter saluran buang (m).

$$\eta_{owc} = \frac{P_{owc}}{P_w} \times 100\% \quad (4)$$

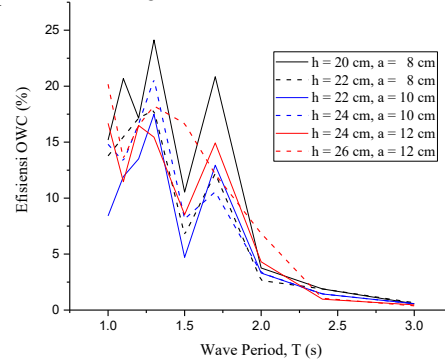
Untuk membahas pengaruh resonansi terhadap perubahan efisiensi perangkat OWC maka tinjauan dilakukan terhadap factor yang mempengaruhi resonansi yaitu periode gelombang dan rasio luas bukaan saluran masuk pada perangkat OWC.

Hubungan periode gelombang (T) terhadap efisiensi OWC

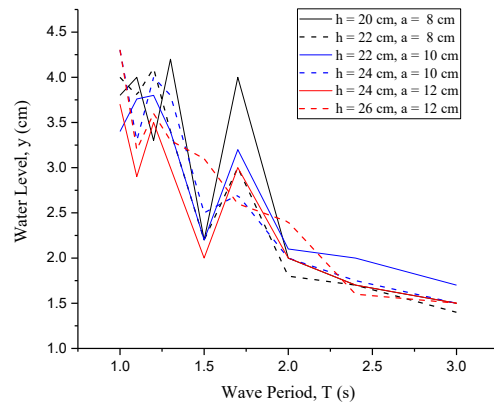
Karakteristik gelombang dalam hal ini periode gelombang adalah salah satu faktor utama dalam konversi energi gelombang laut. Namun demikian kesesuaian frekuensi gelombang dan frekuensi natural perangkat OWC untuk menghasilkan resonansi sangat diperlukan. Pada tulisan ini diuji 9 nilai periode gelombang untuk mendapatkan periode gelombang yang menghasilkan efisiensi maksimum karena efek resonansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Terlihat jelas bahwa untuk periode gelombang $T = 2,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}$ efisiensi OWC untuk semua kondisi pengujian menunjukkan nilai yang seragam dengan peningkatan yang relatif kecil. Namun untuk periode gelombang

yang semakin kecil terjadi kenaikan efisiensi yang relatif besar dan berbeda-beda untuk setiap kondisi uji. Bahkan untuk $T = 1,7 \text{ s}$ dan $T = 1,3 \text{ s}$ mengalami kenaikan efisiensi yang sangat besar. Kondisi ini menunjukkan terjadinya resonansi terbukti dengan terjadinya perubahan level air dalam kolom air yang relatif besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



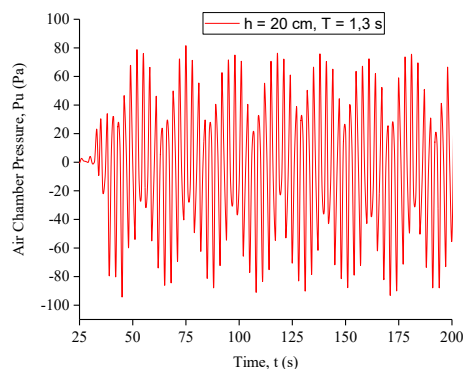
Gambar 7. Hubungan Periode Gelombang terhadap Efisiensi OWC



Gambar 8. Hubungan Periode Gelombang terhadap perubahan level air dalam kolom air.

Hal ini terjadi karena perpindahan muka air dalam kolom air tidak lagi berupa gerakan piston tetapi bersilangan membentuk mode sloshing dan mengakibatkan pola perubahan tekanan udara menjadi lebih teratur seperti pada Gambar 9 yang menggambarkan penyerapan energi yang lebih efektif. Menurut

Rezanejad [19] fenomena resonansi ditandai dengan terjadinya mode sloshing pada fluktuasi permukaan air dalam kolom. Fenomena sloshing ini tidak menyebabkan perubahan volume udara tetapi akan mengakibatkan penyerapan energi yang maksimal. Dengan demikian dapat dipastikan bahwa frekuensi alamiah perangkat berada di rentang 0,588 – 0,769 Hz.



(a)



(b)

Gambar 9. (a) Perubahan tekanan udara dalam kolom udara (b) snapshot level air $T = 1,3$ s

Efek perbandingan panjang dinding terendam (a) dengan panjang bukaan saluran masuk (c) terhadap efisiensi OWC.

Geometri perangkat OWC adalah faktor selanjutnya yang mempengaruhi efisiensi OWC. Salah satu diantaranya adalah panjang dinding depan yang terendam (a) yang merupakan faktor penentu massa pada kolom

air dan akan mempengaruhi frekuensi alamiah perangkat OWC dimana untuk kedalaman yang tetap frekuensi alamiah dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut :

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{a}} \quad (\text{rad/s}) \quad (5)$$

Menurut Rezanejad [20], efisiensi massa tunggal perangkat OWC akan mendekati nilai maksimum disekitar frekuensi alamiahnya. Sementara itu panjang bukaan saluran masuk (c) akan menentukan luas saluran masuk yang selanjutnya akan mempengaruhi besarnya gaya gelombang yang dapat dikonversi menjadi energi oleh perangkat. Menurut Iino [21], besarnya gaya hidrodinamik pada saluran masuk dapat dihitung dengan persamaan 6 berikut :

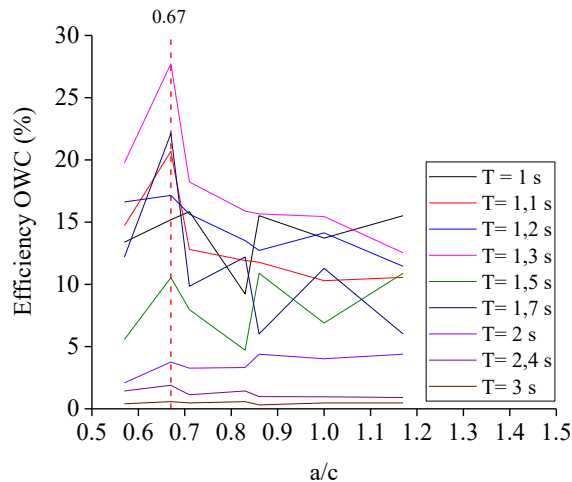
$$F(t) = \iint \left(\frac{\rho_w g H}{2} \frac{\cosh k(h-h_0)}{\cosh kh} \cos(kx - \omega_{in} t) - \rho_w g h_0 \right) w dw dh_0 \quad (\text{N}) \quad (6)$$

$$\text{dimana } h_0 = \frac{c}{2}$$

Karena itu ketepatan perbandingan kedua faktor ini menjadi sangat penting untuk mendapatkan efisiensi maksimum perangkat OWC. Pada Gambar 10 dapat dilihat pengaruh a/c terhadap efisiensi OWC. Terlihat bahwa nilai efisiensi maksimum OWC untuk perioda gelombang (T) dari 1 – 1,3 s terletak pada a/c sebesar 0,67. Keadaan ini terjadi pada $a = 8$ cm dan $c = 12$ cm untuk kedalaman air $h = 20$ cm. Kondisi ini menunjukkan gejala yang sama dengan hasil Anil Celik [22] ketika meneliti ratio luas bukaan saluran masuk terhadap kedalaman air yang menyatakan bahwa perpindahan muka air terbesar dalam kolom air diperoleh pada ratio 0,67. Frekuensi alamiah OWC pada keadaan ini terkonfirmasi berada disekitar frekuensi gelombang.

Kondisi ini juga bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Bouali [18] yang menyatakan bahwa panjang dinding depan yang terendam (a) antara 0,38h – 0,44 h. Terlihat juga bahwa semakin besar nilai perbandingan a/c maka efisiensi akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin berkurangnya kemampuan gaya hidrodinamik gelombang untuk melawan gaya akibat massa

kolom air yang bertambah seiring penambahan panjang dinding yang terendam.



Gambar 10. Efisiensi OWC terhadap a/c

KESIMPULAN

Penelitian ini difokuskan pada hubungan antara frekuensi gelombang datang terhadap frekuensi alamiah struktur OWC untuk memperoleh efisiensi yang maksimal. Untuk memahami hubungan tersebut diuji 9 seri periode gelombang dengan 4 variasi kedalaman air. Dari hasil analisa ditemukan bahwa fenomena resonansi pada periode 1,3 s dengan efisiensi OWC sebesar 24,13 %. Perbandingan dinding depan yang terendam sebagai salah satu faktor penentu frekuensi alamiah struktur terhadap besar bukaan saluran masuk perangkat (a/c) menghasilkan efisiensi maksimum pada rasio 0,67 dengan a = 8 cm dan c = 12 cm untuk kedalaman air h = 20 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Veigas M., L. M., and G. Iglesias, "Assesing the optimal location for a shoreline wave energy converter," *Appl. Energy*, vol. 132, no. 11, pp. 404–11, 2014.
- [2]. P. Pinson, G. Reikard, and J. R. Bidlot, "Probabilistic forecasting of the wave energy flux," *Appl. Energy*, vol. 93, pp. 364–370, 2012.
- [3]. T. Murakami, Y. Imai, S. Nagata, M. Takao, and T. Setoguchi, "Experimental research on primary and secondary conversion efficiencies in an oscillating water column-type wave energy converter," *Sustain.*, vol. 8, no. 8, 2016.
- [4]. A. F. d. O. Falcão, "Wave energy utilization: A review of the technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 899–918, 2010.
- [5]. Y. M. C. Delauré and A. Lewis, "3D hydrodynamic modelling of fixed oscillating water column wave power plant by a boundary element methods," *Ocean Eng.*, vol. 30, no. 3, pp. 309–330, 2003.
- [6]. A. Iturrioz, R. Guanche, J. A. Armesto, M. A. Alves, C. Vidal, and I. J. Losada, "Time-domain modeling of a fixed detached oscillating water column towards a floating multi-chamber device," *Ocean Eng.*, vol. 76, pp. 65–74, 2014.
- [7]. E. G. Bautista, F. Méndez, and O. Bautista, "Numerical Predictions of the Generated Work in an Air-Compression Chamber Driven by an Oscillating Water Column," pp. 7–16, 2009.
- [8]. J. R. Nader, S. P. Zhu, and P. Cooper, "Hydrodynamic and energetic properties of a finite array of fixed oscillating water column wave energy converters," *Ocean Eng.*, vol. 88, pp. 131–148, 2014.
- [9]. S. Patel, K. Ram, and M. R. Ahmed, "Effect of partial blockage of air duct outlet on performance of OWC device," *J. Cent. South Univ. Technol. (English Ed.)*, vol. 19, no. 3, pp. 748–754, 2012.
- [10]. S. John Ashlin, V. Sundar, and S. A. Sannasiraj, "Effects of bottom profile of an oscillating water column device on its hydrodynamic characteristics," *Renew. Energy*, vol. 96, pp. 341–353, 2016.

- [11]. C. Y. Chang, F. N. F. Chou, Y. Y. Chen, Y. C. Hsieh, and C. T. Chang, "Analytical and experimental investigation of hydrodynamic performance and chamber optimization of oscillating water column system," *Energy*, vol. 113, pp. 597–614, 2016.
- [12]. D. Z. Ning, R. Q. Wang, Q. P. Zou, and B. Teng, "An experimental investigation of hydrodynamics of a fixed OWC Wave Energy Converter," *Appl. Energy*, vol. 168, pp. 636–648, 2016.
- [13]. D. Z. Ning, J. Shi, Q. P. Zou, and B. Teng, "Investigation of hydrodynamic performance of an OWC (oscillating water column) wave energy device using a fully nonlinear HOBEM (higher-order boundary element method)," *Energy*, vol. 83, pp. 177–188, 2015.
- [14]. T. Vyzikas, S. Deshoulières, M. Barton, O. Giroux, D. Greaves, and D. Simmonds, "Experimental investigation of different geometries of fixed oscillating water column devices," *Renew. Energy*, vol. 104, pp. 248–258, 2017.
- [15]. P. Boccotti, "Comparison between a U-OWC and a conventional OWC," *Ocean Eng.*, vol. 34, no. 5–6, pp. 799–805, 2007.
- [16]. F. Mahnamfar and A. Altunkaynak, "Comparison of numerical and experimental analyses for optimizing the geometry of OWC systems," *Ocean Eng.*, vol. 130, no. December 2016, pp. 10–24, 2017.
- [17]. R. quan Wang, D. zhi Ning, C. wei Zhang, Q. ping Zou, and Z. Liu, "Nonlinear and viscous effects on the hydrodynamic performance of a fixed OWC wave energy converter," *Coast. Eng.*, vol. 131, no. January 2017, pp. 42–50, 2018.
- [18]. B. Bouali and S. Larbi, "Contribution to the geometry optimization of an oscillating water column wave energy converter," *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 565–573, 2013.
- [19]. K. Rezanejad, J. Bhattacharjee, and C. Guedes Soares, "Analytical and numerical study of dual-chamber oscillating water columns on stepped bottom," *Renew. Energy*, vol. 75, pp. 272–282, 2015.
- [20]. K. Rezanejad and C. Guedes Soares, "Enhancing the primary efficiency of an oscillating water column wave energy converter based on a dual-mass system analogy," *Renew. Energy*, vol. 123, pp. 730–747, 2018.
- [21]. M. Iino, T. Miyazaki, H. Segawa, and M. Iida, "Effect of inclination on oscillation characteristics of an oscillating water column wave energy converter," *Ocean Eng.*, vol. 116, pp. 226–235, 2016.
- [22]. A. Çelik and A. Altunkaynak, "Experimental and analytical investigation on chamber water surface fluctuations and motion behaviours of water column type wave energy converter," *Ocean Eng.*, vol. 150, no. December 2017, pp. 209–220, 2018.