

## **Analisis Perubahan Tekanan Udara Perangkat Oscillating Water Column dengan Metode phi-Buchingham**

Paulinus Sargius Kasi<sup>1</sup>, Jahirwan Ut Jasron<sup>2\*</sup>, Gusnawati<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana  
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

\*Corresponding author: jahirwan.jasron@staf.undana.ac.id

### **ABSTRAK**

Peningkatan populasi manusia seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi pasti semakin sulit dipisahkan dengan kebutuhan energi, Salah satunya adalah kebutuhan terhadap energi listrik. Salah satu sumber energi yang belum banyak di manfaatkan adalah energi gelombang laut. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada dasarnya memiliki prinsip kerja yaitu mengkonversi energi gelombang laut (energi mekanik) menjadi energi listrik. Salah satu teknologi sistem konversi energi gelombang laut adalah teknologi osilasi kolom air atau Oscillating Water Coloumn (OWC). Teknologi Oscillating Water Coloumn ini, menggunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan wells turbine yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk kajian yang dapat dilakukan untuk mempelajari fenomena perubahan tekanan udara perangkat Oscillating Water Coloumn adalah pemodelan matematis. Pemodelan matematis salah satunya dapat dilakukan dengan metode phi-Buchingham. Penggunaan teorema Pi Buckingham untuk Analisis dimensional dapat memudahkan dalam menganalisis dan membuat langkah eksperimen lebih cepat dan terarah.

### **ABSTRACT**

*The increase in human population along with the times and technology must be increasingly difficult to separate from energy needs, one of which is the need for electrical energy. One source of energy that has not been widely utilized is ocean wave energy. Ocean wave power plants basically have a working principle, namely converting ocean wave energy (mechanical energy) into electrical energy. One of the wave energy conversion system technologies is the Oscillating water column (OWC) technology. Technology Oscillating Water Coloumn this, using the air pressure from the watertight chamber to movewells turbine This turbine will then be used to generate electricity. Forms of studies that can be carried out to study the phenomenon of changes in device air pressure Oscillating Water Coloumn is mathematical modeling. One of the mathematical modeling can be done by phi-Buchingham. Using Buckingham's Pi theorem dimensional analysis can make it easier to analyze and make experimental steps faster and more focused.*

**Keywords:** Ocean waves, Oscillating Water Coloumn (OWC), Barometric pressure, phi-Buchingham

### **PENDAHULUAN**

Dengan semakin meningkatnya populasi manusia seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi pasti semakin sulit dipisahkan dengan kebutuhan energi, Salah satunya adalah kebutuhan terhadap energi listrik (Wijaya, 2010). Saat ini, hampir semua negara di dunia menutupi kebutuhan energi mereka dari bahan bakar fosil. Namun seperti yang diketahui sumber daya bahan bakar fosil kini sudah menipis dan juga waktu produksinya yang memerlukan waktu jutaan tahun, jadi kita di tantang untuk menemukan sumber energi baru.

Salah satu sumber energi yang belum banyak di manfaatkan adalah energi gelombang laut. Energi ini tersedia melimpah sehingga dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada dasarnya memiliki prinsip kerja yaitu mengkonversi energi gelombang laut (energi mekanik) menjadi energi listrik. Salah satu teknologi sistem konversi energi gelombang laut adalah teknologi osilasi kolom air atau Oscillating Water Coloumn (OWC) (Ludji, Koehuan, Adisucipto, et al., 2014).

Pada dasarnya Oscillating Water Column merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Alat Oscillating Water Column ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang Oscillating Water Column, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik. Pada teknologi Oscillating Water Column ini, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan wells turbine yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Bentuk kajian yang dapat dilakukan untuk mempelajari fenomena perubahan tekanan udara perangkat oscillating water column adalah pemodelan matematis. Pemodelan matematis salah satunya dapat dilakukan dengan analisis dimensional (Soebiyakto et al., 2021a). Analisis dimensional ialah suatu metode untuk mengurangi jumlah kerumitan variabel eksperimental yang mempengaruhi gejala fisika, dengan menggunakan semacam teknik peringkasan. Penggunaan teorema Pi Buckingham untuk Analisis dimensional dapat memudahkan dalam menganalisis dan membuat langkah eksperimen lebih cepat dan terarah. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil Analisis dimensional perubahan tekanan udara perangkat Oscillating Water Column (OWC).

Berdasarkan beberapa hal diatas, maka dalam penelitian ini dirumuskan dengan topik “Penerapan Analisis dimensional Pada Perubahan Tekanan Udara Perangkat Oscillating water column”.

### **Kajian Pustaka Terdahulu**

Dalam suatu penelitian diperlukan dukungan hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Berikut adalah beberapa penelitian yang dijadikan acuan dalam penelitian ini.

Penelitian Tentang “Analisis dimensional Pemodelan Keseimbangan Berjalan di Atas Balok Titian” (Soebiyakto dkk., 2021) dalam penelitian ini digunakan beberapa variabel untuk di analisis menggunakan metode pi buckingham. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu tempuh sepanjang balok adalah akar kuadrat berat orang dikalikan konstanta gravitasi dibagi hasil kali gaya tekan luasan telapak kaki dan panjang langkah. Pemodelan lanjutan dengan menyertakan variabel lain seperti kondisi lingkungan dapat dilakukan. Persamaan hasil pemodelan dapat menjadi acuan untuk eksperimen keseimbangan.

Muhammad Rifki Azizie dkk., (2020) dalam penelitian “Analisis Energi Gelombang Air Laut Menggunakan Teknologi Oscillating water column”, Perancangan mekanisme pada analisis potensi energi gelombang air laut menggunakan teknologi Oscillating water column hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa rata – rata tinggi gelombang sangat mempengaruhi periode gelombang, panjang gelombang, kecepatan gelombang, energi total dan energi densitasnya.

Jahirwan Ut Jasron (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Kinerja Perangkat Oscillating water column (OWC) dengan Pemodelan Sistem Mekanik Satu Derajat Kebebasan”, penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan energi maksimum terjadi sangat erat hubungannya dengan perubahan massa kolom air sebagai fungsi dari kedalaman air dimana massa kolom air merupakan penentu utama perubahan frekuensi alamiah dari perangkat OWC.

Penelitian lainnya yaitu “Penerapan Analisis Dimensi Dalam Rancang Bangun Mesin Pembelah Biji Kedelai (Glycine Max L.) Sistem Gesek Putar” oleh (Rofarsyam dkk., 2012). Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun mesin pembelah biji kedelai sistem gesek putar yang diperlukan dalam penyiapan bahan baku pembuatan tempe. Pendekatan analisis dimensi digunakan untuk mendapatkan persamaan matematis

yang menghubungkan kapasitas kerja pembelahan dengan parameter-parameter yang berpengaruh. Hasil penelitian ini Prototipe mesin dapat berfungsi dengan baik untuk membelah biji kedelai sekaligus mengupas kulit arinya. Mesin telah diuji dan menghasilkan kapasitas kerja pembelahan sesuai dengan variabel yang diperhitungkan mempengaruhinya.

Penelitian yang dilakukan Joy Ferdinand Ludji dkk, (2014) “Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi sistem osilator kolom air sebagai pembangkit daya tenaga gelombang laut dengan menggunakan turbin angin Maglev sebagai pembangkit daya. Hasil analisis yang diperoleh adalah semakin tinggi gelombang dan periode maka nilai pada kecepatan udara maksimum dalam osilator kolom air, kecepatan udara maksimum saat masuk turbin, daya angin maksimum, dan daya mekanik maksimum semakin naik, dan waktu yang dibutuhkan dalam 1(satu) periode semakin singkat, hanya berbeda pada efisiensi sistem osilator kolom air, karena faktor luas penampang kolom air dan saluran udara tidak berubah.

## METODE PENELITIAN

### Prosedur Penelitian

Membuat Analisis dimensional menggunakan teori Pi Buckingham:

Langkah Analisis Metode Buckingham  $\pi$ :

- Mengidentifikasi semua variabel yang terlibat pada sistem yang dikaji,
- Memilih 3 variabel berulang. Variabel harus berdimensi, tidak ada yang berdimensi sama, kombinasi ketiga variabel berisi ketiga dimensi utama, dan ketiga variabel tersebut tidak membentuk variabel tak berdimensi. Dalam hidraulik biasanya:
  - Karakteristik dimensi linear,
  - Karakteristik kecepatan, dan
  - Karakteristik rapat massa air

- Menulis persamaan umum dalam variabel  $\pi$ . Variabel ini merupakan perkalian dari ketiga variabel berulang dengan eksponen tak diketahui dan salah satu variabel sisa,
- Hitung nilai eksponen yang tidak diketahui dengan menyamakan eksponen dari 3 besaran pokok pada kedua belah sisi pada masing-masing persamaan *dimensional*,
- Menulis hasil akhir persamaan umum fenomena dalam bentuk  $\pi$ ,
- Untuk mendapatkan bentuk akhir, diperlukan langkah sbb.:
  - Variabel tak berdimensi, langsung sebagai  $\pi$ ,
  - Sembarang  $\pi$  dapat diganti dengan  $\pi$  tersebut pangkat sembarang. Misalnya  $\pi_1$  diganti  $\pi_1^2$  dll,
  - Sembarang  $\pi$  dapat diganti dengan mengalikan  $\pi$  tersebut dengan bilangan numerik sembarang. Misalnya  $\pi_1$  diganti  $3\pi_1$  dll, dan menambahkan atau mengurangi dengan  $\pi$  lain.
  - Sembarang  $\pi$  dapat diganti dengan  $\pi$  lainnya dengan
  - Sembarang  $\pi$  dapat diganti dengan mengalikan  $\pi$  tersebut dengan  $\pi$  lainnya. Misalnya  $\pi_1$  diganti  $\pi_1 \times \pi_2$  dll.

### Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini di bagi menjadi dua bagian yaitu sebagai berikut:

#### 1) Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung di lapangan atau ditempat penelitian tersebut. Data primer diperoleh dengan mengambil data secara langsung dengan cara bersamaan menggunakan alat ukur untuk menghitung kecepatan gelombang laut, perhitungan debit air, dan putaran turbin.

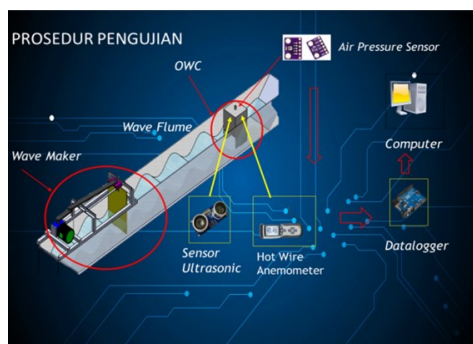
#### 2) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur yang tersedia baik itu dari refrensi buku, jurnal, artikel, dikta dan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian tersebut.

### Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kanal terbuka dengan dimensi 9000 cm x 500 cm x 600 cm
2. Wave maker model torak
3. Perangkat OWC dengan dimensi 250 cm x 250 cm x 520 cm
4. Sensor tekanan udara
5. Sensor tinggi gelombang
6. Sensor kecepatan udara
7. Barometer untuk mengukur tekanan udara



Gambar 1. Skema Pengujian OWC

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter-parameter Utama

Untuk memenuhi kebutuhan menganalisis perubahan tekanan udara di kolom, pertama-tama perlu mengidentifikasi parameter utama yang mempengaruhi perubahan tersebut.

#### Parameter Utama Karakteristik Gelombang

Parameter-parameter utama karakteristik gelombang yang diperhitungkan mempengaruhi perubahan tekanan udara dalam kolom ditampilkan pada Tabel 1. Parameter Utama Geometri Kolom. Parameter-parameter utama geometri kolom yang diperhitungkan mempengaruhi perubahan tekanan udara dalam kolom ditampilkan pada Tabel 2.

### Analisis Perubahan Tekanan Udara untuk Karakteristik metode phi-Buchingham

Penelitian perubahan tekanan udara pada perangkat *oscillating water column* dilakukan berdasarkan parameter-parameter utama yang mempengaruhi perubahan dimaksud. Parameter-parameter utama sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 kemudian dianalisis menggunakan metode Pi Buchingham. Berdasarkan parameter utama yang ada maka hubungan antar parameter tersebut secara fungsional ditulis sebagai :

Tabel 1 Parameter utama karakteristik gelombang

No.	Parameter Utama	Notasi	Satuan	Dimensi
1.	Panjang Gelombang	L	meter	L
2.	Tinggi Gelombang	H	meter	L
3.	Kecepatan Gelombang	C	meter/detik	LT <sup>-1</sup>
4.	Energi gelombang	E	Joule	M L <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>
5.	Tekanan Udara	P	Newton/m <sup>2</sup>	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>

$\Delta p = f(l, h, c, E)$  atau dapat ditulis dalam bentuk :

$$g(\Delta p, l, h, c, E) = 0$$

Dalam hal ini jumlah dimensi bebas minimum yang dibutuhkan adalah M, L, t Jadi r = 3 maka m = r = 3

Maka untuk hubungan tersebut diperoleh 2 parameter phi sebagai parameter independent yang ditulis sebagai :

$$\pi_1 = [L]^{a_1} [LT^{-1}]^{b_1} [ML^2T^{-2}]^{c_1} [ML^{-1}T^{-2}]$$

$$\pi_2 = [L]^{a_2} [LT^{-1}]^{b_2} [ML^2T^{-2}]^{c_2} [L]$$

Phi adalah bilangan tak berdimensi sehingga dengan menyamakan jumlah pangkatnya sama dengan nol akan diperoleh :

$$\begin{aligned} a_1 &= 3 \\ b_1 &= 0 \\ c_1 &= -1 \end{aligned}$$

Tabel 2. Parameter utama geometri kolom

No	Parameter Utama	Notasi	Satuan	Dimensi
1.	Panjang Dinding depan yang terendam	$\alpha$	Meter	L
2.	Massa Air dalam Kolom	M	Kg	M
3.	Percepatan Gravitasi	G	meter/detik <sup>2</sup>	LT <sup>-2</sup>
4.	Massa jenis	$\rho$	kg/meter <sup>3</sup>	ML <sup>-3</sup>
5.	Tekanan Udara	P	Newton/m <sup>2</sup>	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>

Dengan demikian diperoleh :

$$\pi_1 = l^{a_1} c^{b_1} e^{c_1} \Delta p$$

$$\pi_1 = l^3 c^0 e^{-1} \Delta p$$

Atau :

$$\pi_1 = \frac{l^3}{e} \Delta p$$

$$\pi_2 = l^{-1} c^0 E^0 h$$

Atau :

$$\pi_2 = \frac{h}{l}$$

Berdasarkan metode phi-Buchingham maka dihasilkan hubungan fungsional yang ditulis sebagai :

$$\pi_1 = f(\pi_2)$$

$$\frac{l^3}{E} \Delta p = f\left(\frac{h}{l}\right)$$

$$E = \frac{1}{8} \rho g h^2$$

$$\frac{8 l^3}{\rho g h^2} \Delta p = f\left(\frac{h}{l}\right)$$

Tabel 3a. Data karakteristik gelombang dan tekanan udara

h	l	h/l	$\rho$	g
1	100	0,01	998	9,8
2	100	0,02	998	9,8
3	100	0,03	998	9,8
4	100	0,04	998	9,8
5	100	0,05	998	9,8
6	100	0,06	998	9,8
7	100	0,07	998	9,8
8	100	0,08	998	9,8
9	100	0,09	998	9,8
10	100	0,10	998	9,8

Tabel 4b. Data karakteristik gelombang dan tekanan udara (lanjutan)

$(L^3/E) \Delta p$	h/l
0,02 $\Delta p$	0,01
0,08 $\Delta p$	0,02
10,02 $\Delta p$	0,03
20 $\Delta p$	0,04
30 $\Delta p$	0,05
40,8 $\Delta p$	0,06
60 $\Delta p$	0,07
80 $\Delta p$	0,08
100 $\Delta p$	0,09
120,8 $\Delta p$	0,10

### Analisis dimensional Geometri Kolom Terhadap Perubahan Tekanan Udara

Parameter-parameter utama sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 diatas kemudian dianalisis menggunakan metode Pi Buchingham. Berdasarkan parameter utama yang ada, maka hubungan antar parameter tersebut secara fungsional ditulis sebagai:

$$\Delta p = f(\alpha, m, g, \rho)$$

atau dapat ditulis dalam bentuk :

$$g(\Delta p, \alpha, m, g, \rho) = 0$$

Dari persamaan fungsional diatas terlihat bahwa ada 5 (lima) besaran fisis dengan 3 (tiga) satuan dasar, sehingga diperoleh 2 (dua) suku tak berdimensi  $\pi$ , yang ditulis dalam bentuk persamaan :

$$\pi_1 = a^{a_1} g^{b_1} \rho^{c_1} \Delta p$$

$$\pi_2 = a^{a_2} g^{b_2} \rho^{c_2} m$$

atau dalam bentuk dimensi ditulis sebagai :

$$\pi_1 = [L]^{a_1} [LT^{-2}]^{b_1} [ML^{-3}]^{c_1} [ML^{-1}T^{-2}]$$

$$\pi_2 = [L]^{a_2} [LT^{-2}]^{b_2} [ML^{-3}]^{c_2} [M]$$

Sehingga diperoleh ;

$$a_1 = -1$$

$$b_1 = -1$$

$$c_1 = -1$$

Maka diperoleh faktor nondimensional :

$$\pi_1 = a^{a_1} g^{b_1} \rho^{c_1} \Delta p$$

$$\pi_1 = a^{-1} g^{-1} \rho^{-1} \Delta p$$

Atau :

$$\pi_1 = \frac{\Delta p}{a g \rho}$$

Dan :

$$\pi_2 = a^{-3} g^0 p^{-1} m$$

Atau :

$$\pi_2 = \frac{m}{a^3 \rho}$$

Berdasarkan faktor *nondimensinal* yang sudah diperoleh, menghasilkan hubungan fungsional yang ditulis sebagai :

$$\pi_1 = f(\pi_2)$$

$$\frac{\Delta p}{a g \rho} = f\left(\frac{m}{a^3 \rho}\right)$$

Tabel 5a. Data geometri kolom dan tekanan udara

<i>m</i>	<i>a</i> <sup>3</sup>	<i>m/a</i> <sup>3</sup> $\rho$	$\rho$	<i>g</i>
2.495	1	2,5	998	9,8
4.491	1,5	3,0	998	9,8
6.986	2	3,5	998	9,8
9.980	2,5	4,0	998	9,8
13.473	3	4,5	998	9,8
17.465	3,5	5,0	998	9,8
24.950	4	6,25	998	9,8
33.682,5	4,5	7,5	998	9,8
49.900	5	10	998	9,8
68.612,5	5,5	12,5	998	9,8
101.796	6	17	998	9,8
158.931,5	6,5	24,5	998	9,8

Tabel 6b. Data geometri kolom dan tekanan udara (lanjutan)

<i>m/a</i> <sup>3</sup> $\rho$	$\Delta p/a^2 g \rho$
2,5	0,004
3,0	0,004,5
3,5	0,005
4,0	0,006
4,5	0,007,5
5,0	0,009
6,25	0,010
7,5	0,012,5
10	0,016
12,5	0,021
17	0,029
24,5	0,041

### Hasil Pengujian Perangkat *Oscillating Water Column* (OWC)

Berdasarkan hasil pengujian perangkat *Oscillating water column* pada kanal terbuka sesuai dengan prosedur eksperimental diperoleh data antara lain sebagai berikut :

a. Perubahan tekanan udara yang terjadi pada kolom udara sebagai akibat dari perubahan periode gelombang dan panjang gelombang sebagai akibat dari perubahan kedalaman air pada kanal terbuka disajikan pada Tabel 5.

Tabel 7 Data hasil pengukuran perubahan tekanan udara pada kolom udara berdasarkan kedalaman air

Periode Gelombang T (detik)	Perubahan Tekanan Udara ( $\Delta p$ ) (Pa)			
	Kedalaman Air h = 0,20m	Kedalaman Air h = 0,22m	Kedalaman Air h = 0,24m	Kedalaman Air h = 0,26m
1	73	69	62	75
1.1	83	71	72	79
1.2	64	75	83	85
1.3	81	61	61	25
1.5	23	21	40	56
1.7	49	37	38	40
2	15	23	20	29
2.4	16	9	8	10
3	5	6	5	7

Selanjutnya berdasarkan pengukuran perubahan tekanan udara dalam kolom berdasarkan dimensi perangkat *Oscillating water column* diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada Tabel 6 berikut :

Tabel 8 Data hasil pengukuran perubahan tekanan udara pada kolom udara berdasarkan Panjang dinding depan yang terendam

Dinding depan yang terendam a (m)	Kedalaman Air h (m)	Perubahan Tekanan Udara ( $\Delta p$ ) (Pa)			
		Periode Gelombang (T= 1 detik)	Periode Gelombang (T= 1,1 detik)	Periode Gelombang (T= 1,2 detik)	Periode Gelombang (T= 1,3 detik)
0,08	0,2	73	83	64	81
0,08	0,22	96	93	87	85
0,1	0,22	69	71	75	61
0,1	0,24	97	96	75	80
0,12	0,24	62	72	83	61
0,12	0,26	99	96	83	84
0,14	0,26	75	79	85	65

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perubahan tekanan udara pada perangkat *Oscillating water column* dengan metode *phi-Buchingham* dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Karakteristik gelombang sangat berpengaruh terhadap perubahan tekanan udara pada perangkat OWC yang disebabkan oleh perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang.
- Dimensi perangkat OWC juga menjadi factor penting pada perubahan tekanan udara terutama yang disebabkan oleh perbandingan yang tepat panjang dinding yang terendam terhadap kedalaman air..

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aji, N., Ekawati, E., & Haq, I. N. (2021). The Simulation of Wave Energy Conversion by Floating Point Absorber Buoy in Indonesian Sea Waves. (ICA), 112–117.
- [2]. Azizie, M. R., Wicaksono, D. A., & Fitriana, F. (2020a). Analisis Energi Gelombang Air Laut Menggunakan Teknologi *Oscillating Water Column*. Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi (ELKOM), 2(1), 1–10.
- [3]. A. T Pradanan, M. (2020, Desember). Perkembangan Teknologi *Oscillating Water Column* Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Di Berbagai Negara Halaman 1- Kompasiana.com.
- [4]. Baonguyen 1994. wordpress. Com. 15 November 2012. *Renewable Energy (Overtopping Device)*. Dari <https://baonguyen1994.wordpress.com/introduction-to-wave-energy/ocean-wave-technologies/overtopping-devices/>
- [5]. Gayathri, R., Naik, N., & Behera, H. (n.d.). Wave Power Extraction by a Dual Owc Chambers Over an Undulated Bottom. Available at SSRN 4171629.
- [6]. Hagie S. Nahar, Y. (2021, January 26). Potensi Pengembangan *Oscillating Water Column* di Pulau Rote Halaman 4- Kompasiana.com.
- [7]. Jasron, J. U., Soeparmani, S., Yuliati, L., & Darmadi, D. B. (2020). Comparison of the performance of oscillating water column devices based on arrangements of water columns. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(3), 7082–7093.
- [8]. Ludji, J. F., Koehuan, V. A., Nurhayati. (2014). Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut. *Jurnal Teknik Mesin Undana (LONTAR)*. 01 (02):18-25.
- [9]. Rahmatullah, A. (2013). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe *Oscillating Water Column (OWC)* Di Pantai Bandalit Jember [PhD Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10]. Rofarsyam, R., Purwantana, B., & Bintoro, N. (2012). Penerapan Analisis Dimensi dalam Rancang Bangun Mesin Pembelah Biji Kedelai (*Glycine max L.*) Sistem Gesek Putar. *Agritech*, 32(2).
- [11]. Siregar, C. A. (2020). Pembuatan Alat Konversi Energi Memanfaatkan Gelombang Dengan Menggunakan Teknik Kolom Osilasi. *Jurnal Mesil (Mesin, Elektro, Sipil)*. 1 (2):107-115.
- [12]. Soebiyakto, G., Finahari, N., & Rubiono, G. (2021a). Analisis Dimensional Pemodelan Keseimbangan Berjalan di Atas Balok Titian. *Fakultas Olahraga dan Kesehatan, Universitas PGRI Banyuwangi*. 14, 15.
- [13]. Solage, R. D. 2020. *Wave energy by R.D. Solage*. Diakses pada 12 April 2020.
- [14]. Thomson, R. C., Harrison, G. P., & Chick, J. P. (2011). Full life cycle assessment of a wave energy converter. *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, 63–63..
- [15]. Wijaya, I. W. A. (2010). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi *Oscillating Water Column* Di Perairan Bali. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana* 9, 10.