



## Studi Experimental Energi Bangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Model Pelampung

Miftahul Ulum

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

### INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 22  
Nomer 1, Mei 2018

ISSN:1411-7010  
e-ISSN:2477-507X

Halaman:  
29 – 36

DOI:  
<https://dx.doi.org/10.31284/j.ipitek.2018.v22i1.231>

### EMAIL

[ulum@itats.ac.id](mailto:ulum@itats.ac.id)

### RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal diterima :  
11 April 2018

Tanggal diterbit :  
31 Mei 2018

### PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi  
Adhi Tama Surabaya

*Jurnal IPTEK by LPPM-ITATS is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.*

### ABSTRACT

*Electrical energy needs keep growing as technology and information advances, it is necessary for the existence of renewable energy as a source of electrical energy in the future. One of them is sea wave energy. In previous studies, it has been discussed about cylindrical buoy type sea wave power plant with dimensions of length variation of the swing arm and the length of the buoy to the energy generated. Therefore this research will discuss about the influence of different inertia due to the ballast mass-base swing arm distance variation and the generator wire diameter variation, on the laboratory scaled sea wave power generator, to the generated electrical energy. The method used is experimental method with laboratory scale. Experiment has performed by variations are the ballast mass - base swing arm distance, 7 cm, 15 cm and 23 cm, and the generator wire diameter, 0.2 mm, 0.3 mm and 0.4 mm. The ballast mass - base swing arm distance does not give the significant effect. Whereas the greater generator wire diameter gives the higher generated power. The greatest occurs on the 0.4 mm wire diameter with value 0.02438 W and the system has 2.7% of efficiency.*

**Keywords:** wire diameter; DC generator; ballast mass; cylindrical buoy; sea wave power generator.

### ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik kian berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan informasi, oleh karena itu perlu adanya energi terbarukan sebagai sumber energi listrik dimasa depan. Salah satunya adalah energi gelombang laut. Pada penelitian terdahulu, telah dibahas tentang pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelampung silinder dengan variasi dimensi panjang lengan ayun dan panjang pelampung terhadap energi yang dihasilkan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan membahas tentang pengaruh jarak masa pemberat yang ada pada lengan ayun serta variasi diameter kawat yang digunakan generator, pada model pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan skala laboratorium untuk menghasilkan energi listrik. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan skala laboratorium. Eksperimen dilakukan dengan variasi jarak masa pemberat pada lengan ayun, dengan jarak 7 cm, 15 cm, dan 23 cm, dan variasi diameter kawat pada generator 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm. Pada variasi jarak masa pemberat pada lengan ayun didapat hasil yang tidak terlalu berbeda secara signifikan. Sedangkan pada variasi diameter kawat semakin besar diameter maka daya yang dihasilkan lebih besar. Hasil tertinggi terjadi pada diameter kawat 0.4 mm dengan nilai 0.02438 W dan efisiensi sistem yang didapat 2.7%.

**Kata kunci:** diameter kawat; generator DC; masa pemberat; pelampung silinder; PLTGL.

## PENDAHULUAN

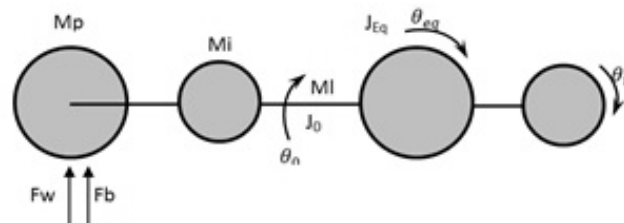
*Wave Energy Converter (WEC)* sebagai salah satu teknologi penghasil energi listrik dunia sudah banyak digunakan di negara-negara maju untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan dimasa mendatang [1]. *Converter* energi gelombang laut yang sudah banyak di gunakan dan

dikembangkan adalah pemanen energi *permanent magnet linier generator* [2], dengan mekanisme naik turun seiring dengan datangnya gelombang yang melewati pelampung. Selain itu beberapa teknologi pemanen energi yang dikembangkan lainnya adalah *Oscillating Water Column* [3]-[4], dengan memanfaatkan *sea water level* atau energi potensial pada gelombang laut dan ruang kedap udara untuk menggerakkan turbin, serta masih banyak peralatan lainnya [5]. Selain daripada mekanisme peralatan, komponen terpenting lainnya yang terdapat pada peralatan pemanen energi adalah generator. Sebagai pengubah energi kinetik maupun potensial ke dalam energi listrik generator sudah banyak dikembangkan seperti halnya generator jenis *linier* maupun *rotary* [6]-[7]-[8]. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada penelitian ini sebelumnya sudah pernah diteliti oleh M. ulum dengan model perencanaan simulasi menggunakan software numerik dengan *output* dalam *RMS volt* [9].

Pada penelitian sebelumnya belum pernah dilakukan pembuatan alat (*prototype*) mekanisme PLTGL dengan menggunakan pelampung silinder skala laboratorium, dan belum pernah dilakukan eksperimen. Pada penelitian ini mekanisme pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang laut tipe pelampung silinder dibuat dan di uji coba pada skala laboratorium. Beberapa alat yang dibutuhkan sebagai pendukung adanya gelombang air laut maka sistem menggunakan kolam dengan gelombang buatan [10]. Variasi yang digunakan pada model mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut dibuat sesuai dengan model simulasi penelitian sebelumnya, serta juga parameter – parameter yang digunakan. Yaitu penambahan masa pada lengan ayun dengan variasi jarak 7 cm, 15 cm, dan 23 cm, serta variasi diameter kawat menggunakan bahan tembaga dengan diameter 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.4 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil dari mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang sesuai dengan model simulasi sebelumnya. Output yang dihasilkan adalah dalam bentuk watt.

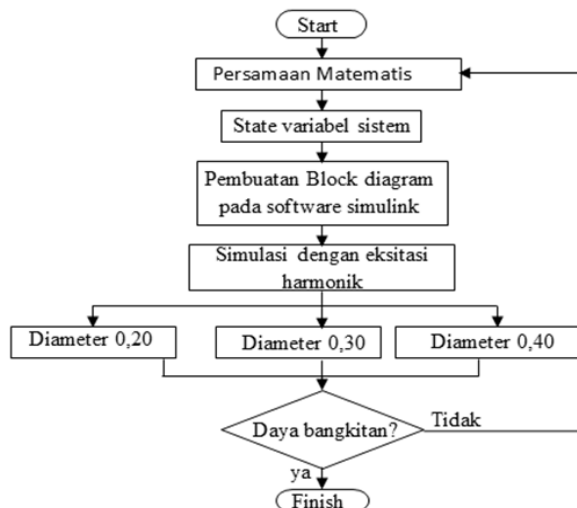
## TINJAUAN PUSTAKA

Sebelumnya sudah pernah dibahas mengenai mekanisme pembangkit listrik menggunakan gelombang laut, yaitu pada penelitian [9] dengan cara simulasi model menggunakan *software numeric*. Alur penelitian yang digunakan yaitu dengan membuat model mekanisme seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Mekanisme Sistem [9]

Model mekanisme dari sistem akan dirubah kedalam persamaan numerik, dan selanjutnya di simulasikan menggunakan program numerik. Diagram alir penelitian sebelumnya di tampilkan pada Gambar 2.

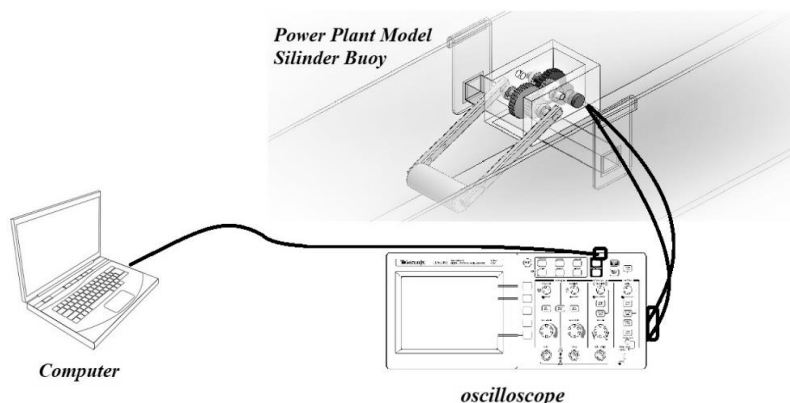


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian Sebelumnya

Hasil dari penelitian sebelumnya berupa daya dalam (volt). Yaitu pada variasi diameter kawat generator 0.2, 0.3 dan 0.4 mm sebesar 0.02735 V, 0.03443 V, dan 0.05027 V.

## METODE

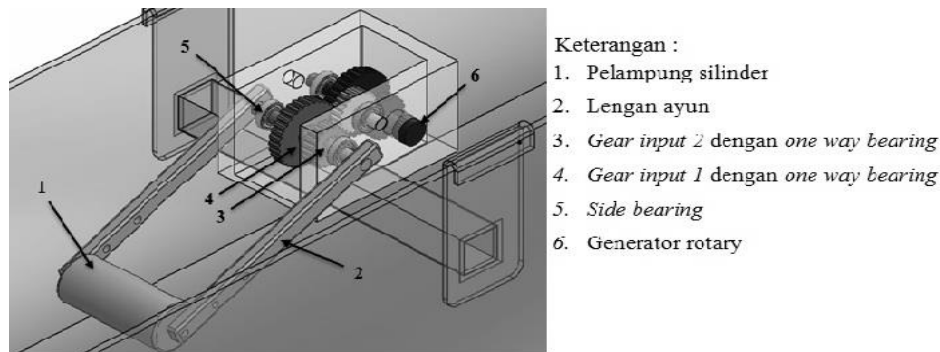
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen pada skala laboratorium. Model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelampung silinder di desain dengan model mekanisme yang memiliki 3 bagian utama pada sistem kesatuan yaitu, bagian pertama pada pelampung jenis silinder dengan menggunakan lengan ayun dan variasi jarak pemberat, bagian kedua adalah roda gigi lurus yang memiliki perbandingan rasio 1:4 dengan menggunakan bantalan satu arah pada roda gigi pertama dan kedua, bagian ketiga ialah *generator* DC. Variasi diameter kawat pada *generator* terletak pada bagian rotor. Dalam melakukan pengujian mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelampung silinder beberapa tahapan yang perlu disiapkan adalah, menyiapkan kolam pembuat gelombang buatan dan selanjutnya memasang mekanisme diatas permukaan air kolam. Prinsip dari model mekanisme ini adalah mengubah gerakan translasi ke rotasi yang selanjutnya diterima oleh *generator*. Pada tahap selanjutnya adalah penyiapan alat perekam data yaitu *oscilloscope* yang nantinya data tersebut diproses pada komputer. Rangkaian percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Percobaan

Percobaan dilakukan dengan beberapa variasi yaitu, mengubah jarak pemberat yang terletak pada lengan ayun, dengan menggunakan jarak 7 cm, 15 cm, dan 23 cm, serta variasi pada *generator* yang memiliki diameter kawat yang berbeda – beda yaitu 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.4 mm.

Hasil yang diperoleh pada pengujian adalah dalam bentuk watt. Skema mekanisme serta bagian dari mekanisme ditunjukkan pada Gambar 4.



- Keterangan :
1. Pelampung silinder
  2. Lengan ayun
  3. Gear input 2 dengan one way bearing
  4. Gear input 1 dengan one way bearing
  5. Side bearing
  6. Generator rotary

Gambar 4. Skema Mekanisme dan Bagian-bagiannya

Parameter yang digunakan pada mekanisme disesuaikan dengan parameter yang digunakan pada model penelitian sebelumnya dimana parameter ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Parameter Pada Gelombang

Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
H <sub>wave</sub>	Tinggi gelombang	8.04	cm
T <sub>wave</sub>	Periode gelombang	1	s
F <sub>wave</sub>	Frek. Gelombang	1	Hz
A <sub>wave</sub>	Amp. Gelombang	4.02	m
P <sub>water</sub>	Masa jenis	1000	kg/m <sup>3</sup>
g	Percepatan grafitasi	9.81	m/s <sup>2</sup>
λ <sub>wave</sub>	Panjang Gelombang	0.97	cm

Tabel 2. Parameter Mekanisme

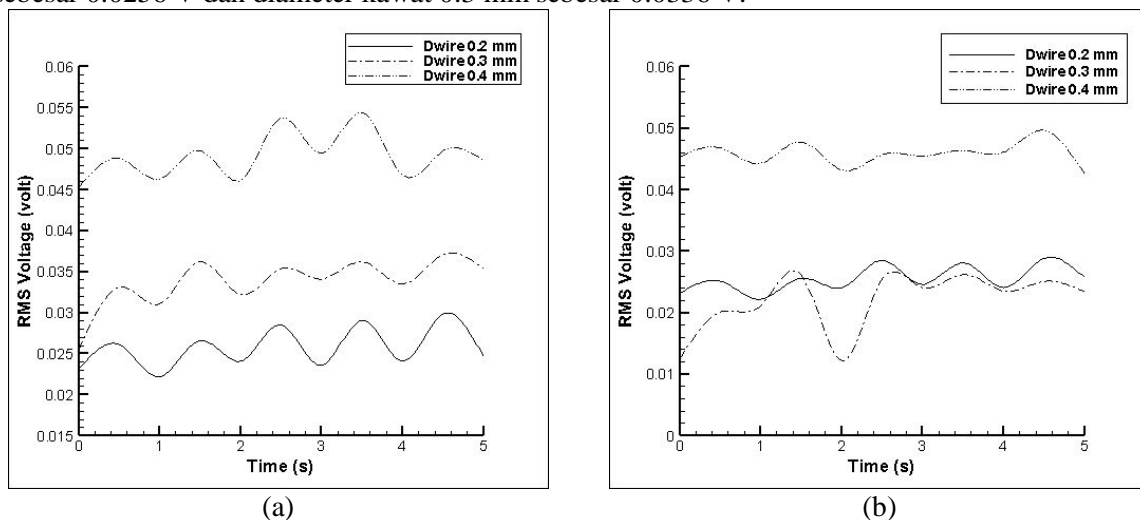
Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
M <sub>b</sub>	Masa pelampung	309.4	g
M <sub>l</sub>	Masa Lengan	259.6	g
M <sub>i</sub>	Masa Pemberat	102	g
L	Panjang Lengan	30	cm
L <sub>i1</sub>	Jarak masa pemberat 1	7	cm
L <sub>p</sub>	Panjang Pelampung	30	cm
D <sub>p</sub>	Diameter Pelampung	9	cm
L <sub>i2</sub>	Jarak masa pemberat 2	15	cm
L <sub>i3</sub>	Jarak masa pemberat 3	23	cm
K	Kekakuan Poros	175985.05	Nm/rad
J <sub>Eq</sub>	Momen Inersia Gear	4.507x10 <sup>-3</sup>	kg.m <sup>2</sup>
N <sub>1</sub>	Jumlah lilitan kawat D	400	Lilitan
N <sub>2</sub>	0.2mm Jumlah lilitan kawat D	325	Lilitan
	0.3mm		
N <sub>3</sub>	Jumlah lilitan kawat D	225	Lilitan
R <sub>1</sub>	0.4mm	1.7085	Ohm
R <sub>2</sub>	Resistansi Kawat D 0.2 mm	0.9236	Ohm

$R_3$	Resistansi Kawat D 0.3 mm	0.4802	Ohm
$L_{wire1}$	Resistansi Kawat D 0.4 mm	20.1	m
$L_{wire2}$	Panjang Kawat D 0.2 mm	16.3	m
$L_{wire3}$	Panjang Kawat D 0.3 mm	11.3	m
$L_{ind1}$	Panjang Kawat D 0.4 mm	20.1	H
$L_{ind3}$	Induktansi kawat D 0.2 mm	10.53	H
$\rho_{wire}$	Induktansi kawat D 0.4 mm	$1.7 \times 10^{-8}$	$\Omega \text{ m}$
$L_{coil}$	Resistivitas bahan tembaga	0.03	M
A	Panjang kumparan	0.26	$\text{m}^2$
B	Luas penampang kumparan	1.25	Tesla
H	Kerapatan fluks magnet	52000	At/m
$\mu$	Kuat medan magnet	$24 \times 10^{-6}$	Tm/A t
	Permeabilitas bahan		

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian mekanisme alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe pelampung silinder menggunakan kolam simulator sebagai media pembuat gelombang laut dengan variasi diameter kawat pada generator 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.4 mm, serta variasi jarak pemberat pada lengan ayun pada jarak 7 cm didapat hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan 5(b).

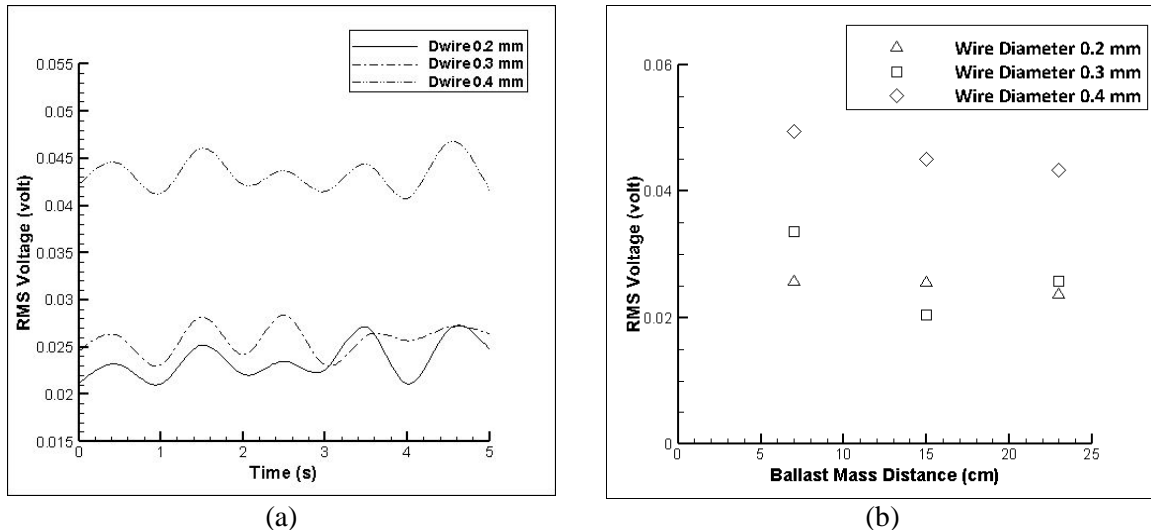
Pada Gambar 3(a) hasil percobaan dengan variasi diameter kawat menggunakan jarak masa pemberat pada lengan ayun 7 cm, daya bangkitan terbesar dalam RMS volt ada pada generator dengan diameter kawat 0.4 mm yaitu sebesar 0.0494 volt. Sedangkan pada diameter kawat 0.2 mm sebesar 0.0256 V dan diameter kawat 0.3 mm sebesar 0.0336 V.



Gambar 5. (a) Grafik variasi diameter kawat pada jarak masa pemberat 7 cm. (b) Grafik variasi diameter kawat pada jarak masa pemberat 15 cm.

Hasil percobaan dengan variasi diameter kawat pada jarak masa pemberat 15 cm yang ditunjukkan pada gambar 5b. Nilai keluaran dalam RMS volt tertinggi adalah pada diameter kawat 0.4 mm yaitu sebesar 0.0451 V sedangkan nilai terendah pada diameter kawat 0.3 mm yaitu 0.0205 V, dan pada diameter kawat 0.2 mm mendapat hasil sebesar 0.0254 V.

Pada variasi diameter kawat dengan jarak masa pemberat 23 cm ditunjukkan pada gambar 6a, dimana nilai tertinggi juga pada diameter kawat 0.4 mm yaitu sebesar 0.0433 V. sedangkan pada diameter kawat 0.2 ialah 0.0235 V, dan pada diameter kawat 0.3 mm sebesar 0.0257 V.



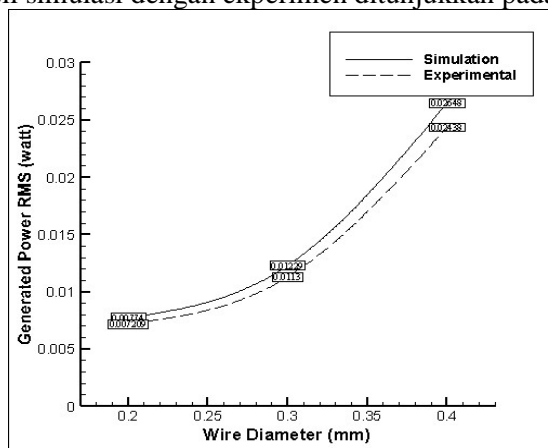
Gambar 6. (a) Grafik variasi diameter kawat pada jarak masa pemberat 23 cm. (b) Hasil RMS volt variasi diameter kawat pada variasi jarak masa pemberat 7,15, dan 23 cm.

Dari Gambar 6(b) dimana pada variasi diameter kawat nilai bangkitan terbesar ada pada generator dengan diameter kawat 0.4 mm dan terendah 0.2 mm, sedangkan pada variasi jarak masa pemberat hasil terbesar ada pada jarak 7 cm dan terendah pada jarak 23 cm. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan hambatan pada masing-masing generator dan perbedaan torsi yang terjadi pada masing-masing jarak pemberat. Hasil dari pengujian di ditampilkan dalam bentuk keluaran RMS volt pada tiap variasi pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil eksperimen

Diameter Kawat (mm)	Jarak Pemberat (cm)	RMS (volt)
0.2	7	0.0256
0.2	15	0.0254
0.2	23	0.0235
0.3	7	0.0336
0.3	15	0.0205
0.3	23	0.0257
0.4	7	0.0494
0.4	15	0.0451
0.4	23	0.0433

Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen dalam RMS(watt)

Pada Gambar 7 adalah grafik perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen dimana data simulasi didapat dari penelitian terdahulu [9], daya yang dihasilkan oleh model simulasi (watt) memiliki tren yang sama dengan hasil eksperimen sekarang, dengan hasil tertinggi dimiliki oleh hasil simulasi namun tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil eksperimen yang memiliki hasil dibawahnya. Perbedaan hasil simulasi dengan eksperimen dibuat dalam persentase nilai *error*, dimana *error* yang didapat sebesar 8,238 %. Hal ini dikarenakan pada model simulasi tidak memiliki adanya *losses* atau rugi-rugi akibat adanya gangguan eksternal seperti yang dimiliki oleh mekanisme maupun sistem pada saat pengujian. Dengan didapatkannya daya terbesar pada skala laboratorium yaitu sebesar 0.02438 watt dan inputan daya yang di gunakan sebesar 0.9018 watt maka efisiensi sistem didapatkan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots(1) \quad \text{efisiensi mekanis} \quad \frac{0.02438}{0.9018} = 2,7\%$$

## KESIMPULAN

Dari eksperimen yang dilakukan didapatkan hasil yaitu, pada variasi jarak masa pemberat hasil terbaik didapat pada masa jarak 7 cm namun perbedaan hasil tidak terlalu signifikan, dikarenakan jarak yang digunakan tidak terlalu jauh. Pada variasi diameter kawat hasil terbaik di miliki oleh generator dengan diameter kawat 0.4 mm, yaitu sebesar 0.02438 W. Efisiensi sistem berdasarkan data dari parameter dan hasil yang diperoleh adalah 2.7 %. Dari perbandingan hasil yang didapat, pengujian yang dilakukan memiliki hasil yang sesuai dengan model simulasi sebelumnya namun nilainya lebih rendah dikarenakan adanya rugi – rugi mekanis yang terjadi pada model mekanisme pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Alamian, R. Shafaghat, S. J. Miri, and N. Yazdanshenas, "Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 468–476, 2014.
- [2] A. Wahyudie, M. A. Jama, O. Saeed, H. Noura, A. Assi, and K. Harib, "Robust and low computational cost controller for improving captured power in heaving wave energy converters," *Renew. Energy*, pp. 1–11, 2014.
- [3] S. Brusca, F. Cucinotta, A. Galvagno, R. Lanzafame, S. Mauro, and M. Messina, "Oscillating Water Column Wave Energy Converter by Means of Straight-bladed Darrieus Turbine," *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 766–773, Dec. 2015.
- [4] S. Brusca, A. Galvagno, R. Lanzafame, A. M. Cugno Garrano, S. Mauro, and M. Messina, "On the turbine-induced damping in Oscillating Water Column wave energy converter," *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 581–588, 2017.
- [5] M. P. Kazmierkowski and M. Jasi, "Power Electronics for Renewable Sea Wave Energy," pp. 4–9, 2010.
- [6] X. Niu, "Modeling and Design Analysis of a Permanent Magnet Linear Synchronous Generator," pp. 1–47, 2013.
- [7] P. M. C. Godinho, M. R. A. Calado, and S. J. P. S. Mariano, "Design and numerical analysis of a new linear generator for wave energy conversion," pp. 525–529, 2011.
- [8] R. Vandana, "Design Methodology for High-Performance Segmented Rotor Switched Reluctance Motors," vol. 30, no. 1, pp. 11–21, 2015.
- [9] M. Ulum, "Analysis on Electrical Energy from Cylindrical-Buoy-Type Sea Wave Power Plant Model," in *Analysis on Electrical Energy from Cylindrical-Buoy-Type Sea Wave Power Plant Model*, 2017, pp. 1–4.
- [10] M. E. McCormick, *Ocean Engineering Mechanics*. New York: United States of America by Cambridge University Press, New York.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*