

Optimasi Desain Piston Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Sistem Pneumatik untuk Output Daya Listrik

A. Indriani^{1,*}, H. Jonianto¹, dan Hendra²

¹Teknik Elektro Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu, Indonesia

²Teknik Mesin Universitas Bengkulu, Indonesia

*aniz_raimin@yahoo.com

Abstrak

Energi gelombang laut merupakan energi alternatif yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik pengganti sumber energi dari minyak bumi. Kelangkaan sumber energi minyak bumi menyebabkan pemerintah mencoba mencari teknologi terbaru dalam mengelola sumber daya alam yang ada di Indonesia. Seperti energi surya, energi angin dan energi gelombang laut yang termasuk potensial dalam pengembangan teknologi untuk menghasilkan energi listrik. Energi surya dan angin masih memerlukan biaya atau investasi peralatan yang mahal sementara potensi gelombang laut dapat dibuat dengan mekanisme yang tidak terlalu mahal dan rumit. Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam pengembangan pemanfaatan energi gelombang laut untuk menghasilkan energi listrik seperti *oscillating water column*, *duck*, *oyster*, *pelamis* dan sistem pneumatik. Dalam tulisan ini difokuskan pada pemanfaatan sistem pneumatik untuk pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dimana sistem pneumatiknya menggunakan tabung PVC dan torak penggerak udara turun naik (piston) untuk menekan udara keluar dan masuk tabung PVC. Tekanan udara yang dihasilkan akan menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan sistem ini sangat menguntungkan karena sistem dan komponennya sederhana, mudah didapatkan dan ramah lingkungan. Besarnya energi listrik yang dihasilkan tergantung kepada besarnya tekanan turun naik torak dalam menghasilkan udara untuk menggerakkan generator. Tekanan atau daya dorong dipengaruhi oleh besarnya tekanan pada torak dari pelampung. Sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut didesain dalam bentuk tabung lurus yang dilubangi pada bagian atas dan bawah dimana torak (piston) bergerak turun naik untuk menghasilkan udara yang mengalir ke komponen penggerak generator. Untuk mengetahui optimasi dari desain ini, dilakukan variasi penggunaan pelampung sebagai bagian dari daya dorong torak piston dan hasilnya menunjukkan semakin banyak pelampung maka dihasilkan putaran yang tinggi dan daya listrik yang besar.

Kata kunci : Energi Gelombang Laut, Pneumatik, Tabung PVC, Pelampung, PLTGL.

Pendahuluan

Laut memiliki banyak potensi berupa makluk hidup, mineral dan potensi yang lain. Seperti gelombang laut, arus laut dan angin laut dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak. Saat ini sumber energi penggerak komponen suatu mesin di laut menggunakan energi minyak bumi sebagai bahan bakar. Ketersediaan bahan bakar minyak bumi yang mulai berkurang menyebabkan kelangkaan bahan bakar dan

harga jual yang tinggi sehingga membuat banyak Negara beralih memanfaatkan energi lain sebagai sumber energi seperti energi angin, surya maupun energi gelombang laut untuk sistem penggerak komponen mesin.

Indonesia termasuk Negara yang kaya dengan potensi tersebut, dimana pemanfaatannya masih kurang yang disebabkan oleh kekurangtahuan dalam pembuatan peralatan atau teknologi pengolahan potensi tersebut.

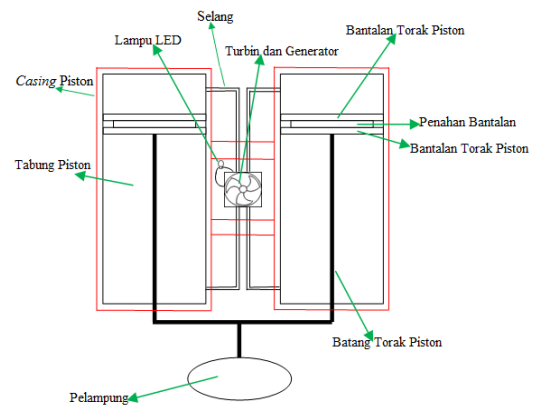
Kecenderungan mengandalkan energi minyak bumi sebagai sumber bahan bakar menyebabkan penelitian dan pengembangan teknologi pemanfaatan sumber energi gelombang laut menjadi kurang.

Sementara Negara maju sudah mulai beralih memanfaatkan energi gelombang laut dalam menghasilkan energi listrik seperti pemanfaatan metode *oscillating water column*, metode *duck*, metode *oyster*, metode *pelamis* dan pneumatik [1-5]

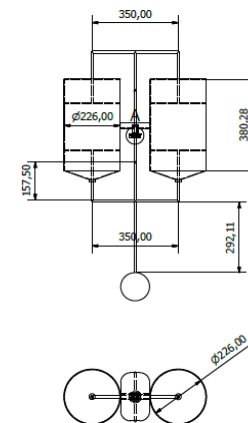
Dalam penelitian ini difokuskan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan sistem pneumatik untuk memampatkan udara dalam tabung piston mendorong generator. Torak (piston) digunakan sebagai alat pendorong udara di dalam tabung yang terhubung dengan generator. Penelitian sebelumnya menggunakan satu piston sebagai penggerak generator dengan lubang katup buang terletak pada bagian atas tabung piston. Generator terpasang pada bagian atas tabung piston dengan memanfaatkan 5 lilitan kumparan dan magnet denomyum. Pada penelitian ini menggunakan dua piston paralel sebagai penggerak generator dengan variasi katup buang pada bagian atas dan bawah dinding tabung piston dan variasi jumlah pelampung. Variasi jumlah pelampung untuk menekan torak turun dan naik sehingga menghasilkan tekanan yang besar untuk menggerakkan generator dan menghasilkan daya listrik.

Metodologi

Alat dan Bahan. Bahan yang digunakan dalam pembuatan alat PLTGL ini adalah pipa PVC dengan tinggi 400 mm dengan diameter 226 mm, penutup pipa, bracket, kabel, kipas DC, pelampung, torak piston dan komponen lain. Desain peralatan PLTGL dapat dilihat pada Gambar 1. Dimensi komponen PLTGL dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Komponen dan Rangkaian PLTGL



Gambar 2. Dimensi Komponen PLTGL

Formulasi Perhitungan. Sistem pneumatik PLTGL memiliki beberapa komponen yaitu tabung silinder atau piston, batang torak, pelampung dan generator. Pelampung berfungsi untuk menerima gaya dorong dari gelombang laut sehingga menekan torak dalam tabung piston untuk mengalirkan udara keluar melalui lubang buang tabung piston. Besarnya gaya apung pelampung dihitung dengan Persamaan 1 [6] :

$$F_a = \rho g V \quad 1$$

dimana :

ρ = massa jenis air laut (Kg/m³)

g = percepatan gravitasi (N/Kg)

V = volume pelampung (m³)

F_a = gaya apung (N)

Besarnya volume pelampung dihitung dengan menggunakan Persamaan 2:

$$V_{Pelampung} = V_{Tabung} + V_{Bola} \quad 2$$

Dimana,

$$V_{Tabung} = \frac{\pi d^2 t}{4} \text{ dan } V_{Bola} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

dimana :

d = diameter (m)

t = tinggi bangun (m)

r = jari-jari bangun (m)

Besarnya gaya tekan pada tabung piston adalah :

1. Piston satu tabung dihitung dengan Persamaan 3 [7]

$$F_e = F_a - W \quad 3$$

$$W = m \cdot g$$

dimana :

Fe = gaya tekan (N)

W = berat tabung (N)

m = massa alat (Kg)

g = gaya gravitasi (N/Kg)

P = Tekanan kerja (Pa)

2. Piston dua tabung dengan Persamaan 4 [8][9]:

$$F_e = A \cdot P \quad 4$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

dimana

A = Luas alas tabung silinder (m²)

Perhitungan untuk langkah naik dan turun dilakukan dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6.

$$F_e = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} P \quad 5$$

$$F_e = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} p \quad 6$$

dimana

D = Diameter piston (m)

d = Diameter batang piston (m)

Besarnya tekanan di dalam tabung dihitung dengan Persamaan 7 [10][7]:

$$P_{Tabung} = \frac{F_e}{A} \quad 7$$

dimana :

P_{Tabung} = Tekanan dalam tabung (Pa)

Fe = Gaya yang diberikan pelampung ke tabung silinder (N)

A = luas alas tabung silinder (m²)

Alas tabung silinder adalah:

$$L = \pi r^2$$

dimana :

L = Luas alas lingkaran

r = Jari-jari lingkaran

Debit udara dan kecepatan udara sistem pneumatik dihitung dengan Persamaan 8 dan 9 [11][12] :

$$V = T \cdot A \quad 8$$

$$Q = \frac{\text{volume}}{t} \quad 9$$

dan besarnya: $V = \frac{Q}{A}$

dimana :

Q = debit udara (m³/s)

V = kecepatan udara di dalam tabung (m/s)

T = Waktu (s)

Kecepatan udara dari tabung ke generator dihitung dengan Persamaan 10 [11][12]:

$$Q_1 = Q_2 \quad 10$$

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$$

dimana :

Q₁ = debit udara dari dalam tabung (m³/s)

Q₂ = debit udara menuju generator (m³/s)

V₁ = kecepatan udara dari dalam tabung (m/s)

V₂ = kecepatan udara menuju generator (m/s)

A₁ = Luas alas tabung silinder (m²)

A₂ = Luas alas lubang pada bagian atas tabung silinder (m²)

Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh sistem pneumatik ini dihitung dengan Persamaan 11.

$$P = V \cdot I \quad 11$$

dimana :

P = daya (W)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Hasil

Hasil pengujian pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) menggunakan sistem pneumatik dengan variasi pelampung dapat dilihat pada Tabel 1. Dimana dari Tabel 1 terlihat bahwa penggunaan 2 pelampung dengan satu katup buang pada bagian tengah tabung piston dan dua katup buang bagian atas dan bawah tabung piston belum menghasilkan kecepatan putar, tegangan dan arus. Penggunaan 3 atau lebih pelampung dengan variasi dua katup buang tabung

piston menghasilkan tegangan 1,7 V dan semakin membesar hingga 3,18 V jika menggunakan 5 pelampung. Arus dan putaran yang dihasilkan juga meningkat dari 18,9 mA dan 284 rpm menjadi 43,2 mA dan 453 rpm. Hal ini menunjukkan penambahan pelampung akan meningkatkan putaran, arus dan kecepatan generator.

Tabel 1. Hasil Pengujian PLTGL Menggunakan 1 dan 2 Tabung Piston dengan Variasi Pelampung

Jumlah Pelampung	Model PLTGL	Posisi Keluaran udara	Tegangan (V)	Arus (mA)	Waktu (s)	Kecepatan Generator (rpm)
2	Kerja tunggal	Tengah	-	-	-	-
	Kerja ganda	Atas Bawah	-	-	-	-
3	Kerja tunggal	Tengah	-	-	-	-
	Kerja ganda	Atas Bawah	1,7	18,9	1,43 2,17	284
4	Kerja tunggal	Tengah	-	-	-	-
	Kerja ganda	Atas Bawah	2,13	22,6	1,33 1,92	313
5	Kerja tunggal	Tengah	-	-	-	-
	Kerja ganda	Atas Bawah	3,18	43,2	1,24 1,81	453

Tabel 2. Daya yang dihasilkan oleh PLTGL Menggunakan 1 dan 2 Tabung Piston dengan Variasi Pelampung

Jumlah Pelampung	Langkah Kerja	Gaya Tekanan (N)	Debit Udara (m ³ /s)	Kecepatan Udara Dalam Tabung (m/s)	Kecepatan Udara diujung Keluaran (m/s)	Daya (watt)
2	Naik	-	-	-	-	-
	Turun	-	-	-	-	-
3	Naik	25,79	0,0022	0,17	69,23	3,2.10 ⁻²
	Turun	25,77	0,0014	0,12	44,87	-
4	Naik	60,43	0,0024	0,19	77,38	4,3.10 ⁻²
	Turun	60,39	0,0016	0,14	57,01	-
5	Naik	95,07	0,0025	0,21	85,52	13,3.10 ⁻²
	Turun	95	0,0017	0,15	61,52	-

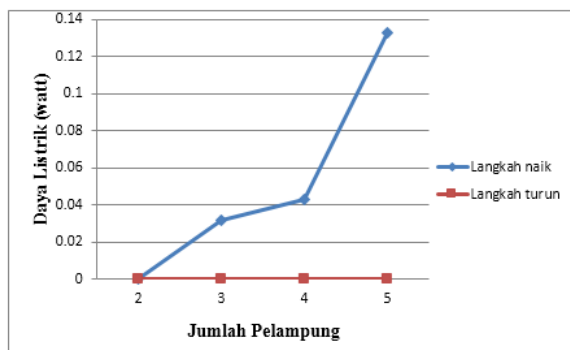
Sementara untuk satu katup buang pada bagian tengah tabung piston tetap tidak menghasilkan putaran, tegangan dan arus.

Hal ini menunjukkan penggunaan tabung piston dengan satu katup buang pada bagian tengah tabung tidak dapat menghasilkan tegangan listrik.

Daya yang dihasilkan oleh mesin PLTGL dengan variasi katup buang atas dan bawah pada bagian sisi tabung piston dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa daya yang dihasilkan adalah $3,2 \times 10^{-2}$ watt untuk 3 pelampung dan $13,3 \times 10^{-2}$ watt untuk 5 pelampung. Pada pengujian ini juga terlihat bahwa pada kondisi torak piston naik maka keluaran berupa tegangan dan daya dapat diperoleh, sementara pada saat torak piston turun tidak menghasilkan tegangan dan daya listrik. Hal ini disebabkan oleh kondisi torak piston jika dalam kondisi naik, kecepatan udara yang dihasilkan sebesar 69,23 m/s untuk 3 pelampung dan 85,52 m/s untuk 5 pelampung. Pada kondisi torak piston turun kecepatan udara yang dihasilkan rendah (turun). Ini menyebabkan pada saat torak pada tabung piston turun tidak menghasilkan tegangan dan daya listrik.

Hasil ini juga menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh alat pembangkit listrik tenaga gelombang laut semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah pelampung. Dimana semakin banyak pelampung maka gaya dorong akan semakin tinggi sehingga tekanan naik atau turun torak pada tabung piston akan semakin kuat terutama saat torak piston dalam kondisi naik. Peningkatan kecepatan udara pada piston pneumatik akan meningkatkan daya listrik yang dihasilkan oleh generator.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara daya listrik dan jumlah pelampung untuk langkah torak pada tabung piston naik dan turun, dimana terlihat pada langkah turun daya listrik yang dihasilkan konstan (0) sementara untuk langkah naik daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 3. Grafik Hubungan daya Listrik dan Jumlah Pelampung

Kesimpulan

Dari hasil pengujian peralatan PLTGL didapatkan kesimpulan:

1. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) menggunakan sistem pneumatic dengan variasi katup buang atas dan bawah pada sisi tabung piston dapat menghasilkan energi listrik.
2. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini akan menghasilkan daya listrik sebesar $3,2 \cdot 10^{-2}$ watt dengan penggunaan tiga pelampung, empat pelampung dapat menghasilkan daya listrik sebesar $4,3 \cdot 10^{-2}$ watt dan lima pelampung menghasilkan daya listrik sebesar $13,3 \cdot 10^{-2}$ watt.
3. Semakin banyak pelampung, semakin besar gaya apung, kecepatan dorong udara dalam tabung piston, putaran dan daya keluaran dari PLTGL sistem pneumatic dengan variasi katup buang.

Referensi

- [1] Soebyakto. *Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Sistem Osilator*.
- [2] Kurniawan, Prasetya, Luthfi, *Studi Perancangan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Salter Duck*. Volume 3, 2014.
- [3] Wijaya, Arta, Wayan, I., *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali*. volume 3, 2010.
- [4] Casman, D. P., Sullivan, D. L., Egan, M.,M., and Hayes, J. G., *Modeling and Analysis of an Offshore Oscillating Water Column Wave Energi Converter*, Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energi Conference, 2009, pp. 924-933, Sweden.
- [5] Hendra, A., Indriani, Hernadewita, "Applying of Piston Mechanism Design Used in the Wavelength Electrical Generating of Ocean for Fishing Communities", *Advanced Materials Research*, Vol 918, pp. 73-78, Apr. 2014.
- [6] Falcao, A. F., *Wave Energi Utilization: A Review of the Technologies*, *Renewable and Sustainable Energi Reviews*, 14, pp. 899-918, 2010.
- [7] Parr, Andrew, *Hidrolika dan Pneumatika Edisi Kedua*. Jakarta:Erlangga, 2003.
- [8] Nuarsa, I Made, *Penangkap Energi Gelombang Laut*. Volume 9, 2008.
- [9] Akhmad, Antoni Al, *Perancangan Simulasi Pergerakan Dengan Pengontrolan Pneumatik Untuk Mesin Pengamplas Kayu Otomatis*. Volume 3, 2009.
- [10] Budiman, Aris,.dkk. *Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik*. volume 12 No 01.
- [11] Taribuka, Marthen, Semuel., Hatuwe, Noor, dan Azmain., *Perencanaan Instalasi Kontrol Pneumatik Menggunakan Metode Cascade Pada Alat Pelumatan Tanah Liat Sebagai Bahan Dasar Batu Bata Merah*. Volume 9 No 1, 2012.
- [12] Manurung, Richardo, "Perancangan PLTGL Sistem Pneumatik Terhadap Daya Listrik Yang Dibangkitkan

*Gelombang Laut Di Pantai Panjang
Kota Bengkulu*". Teknik Elektro
Universitas Bengkulu, 2014.