

Analisis Potensi Daya Mekanis Yang Dihasilkan Konverter Energi Metode Bandul Vertikal Di Air Tenang

Hendri Suryanto^{a,*}, Drajat Indah Mawarni^b

^{a,b} Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

*Email : hendrie_s@yahoo.com

Abstract

Hydroelectric power plants have been widely developed. One that is mostly built especially in mountainous or highland areas is power plants that use falling water energy or river water currents to turn turbines connected to generators. In coastal areas today power plants have been developed using abundant sea waves known as the Wave Energy Converter (WEC), with one of the methods used is the pendulum method. For areas in the lowlands and far from the coast but there are bodies of water such as lakes, swamps and rivers with slow flow, which are large enough, the potential of the water has not been used to drive electricity generation and the question arises whether it can be utilized to drive the converter. For this reason, it is necessary to research the use of calm water to drive the converter. By adopting the WEC technology used in ocean waves, the vertical pendulum method above the pontoon was chosen in this study, which according to the author's consideration is simpler than the other methods. The design of the converter made was a vertical pendulum mounted on a flat pontoon by adding components in the form of a barrier pair to make water surging continuously under the pontoon so that the pendulum swings continuously. In this study the observed variable was the power produced by the converter by varying the arm length from 0.2 to 0.3 m with a pendulum load varying from 0.5 to 1 kg. Theoretical analysis showed the results of greater mechanical power produced by using a larger pendulum mass. And the faster rotation of the pendulum shaft was produced by using the shorter pendulum arm.

Keywords : Wave Energy Converter; Vertical Pendulum; Power Plant; Power.

1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik semakin meningkat tiap tahun. Sehingga pemerintah telah mencanangkan penambahan pasokan listrik 35.000 MW dengan membangun pembangkit listrik-pembangkit listrik baru. Beberapa jenis pembangkit listrik yang digunakan adalah dengan menggunakan energi terbarukan seperti : air, angin, surya, panas bumi, biomassa dan biodiesel (Anonim, 2014). Untuk pembangkit listrik tenaga air terdapat beberapa metode yang bisa digunakan misalnya yang sudah umum adalah memanfaatkan energi air jatuh atau memanfaatkan arus air sungai untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator. Metode tersebut hanya bisa diterapkan untuk daerah berpegunungan atau dataran tinggi yang terdapat aliran sungai.

Pemanfaatan tenaga air dalam bentuk lain untuk pembangkit listrik adalah dengan memanfaatkan gelombang air laut, di daerah-daerah tepi pantai. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk pemanfaatan energi gelombang laut untuk pembangkit listrik dan beberapa sudah diterapkan. Menurut Prakash, *et al.* (2016) ada tiga jenis teknologi atau metode yang digunakan untuk konverter energi gelombang (*Wave Energy Converter/WEC*) berdasarkan cara kerjanya yaitu : *oscillating water column* (OWC), *oscillating bodies* dan *overtopping devices*. Masing-masing metode tersebut dilengkapi dengan mekanisme *power take-off* (PTO) untuk mengubah energi mekanis gelombang air menjadi energi listrik yaitu turbin udara, turbin hidrolik, turbin hidrolik linier dan generator

listrik linier. Di samping itu beberapa peneliti menggunakan metode bandul horisontal atau vertikal yang dipasang di atas ponton. Bandul vertikal atau horisontal yang berayun atau berputar kemudian dihubungkan dengan generator sedemikian rupa sehingga generator berputar dan menghasilkan listrik.

Untuk daerah-daerah di dataran rendah dan jauh dari pantai tetapi terdapat badan-badan air seperti danau, rawa dan sungai dengan aliran pelan dan bahkan untuk danau dan rawa airnya tenang, apakah bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai metode apa yang bisa digunakan untuk memanfaatkan air tenang sebagai pembangkit listrik. Dengan mengadopsi teknologi WEC yang digunakan pada gelombang laut, maka pada penelitian ini dipilih metode bandul vertikal di atas ponton, yang menurut pertimbangan penulis lebih sederhana dibanding metode yang lain. Permasalahan utama yang muncul adalah bagaimana di atas air yang tidak bergelombang bandul bisa berayun, sehingga diperlukan tambahan komponen untuk membuat air di bawah ponton bergelombang.

2. Kerangka Teori

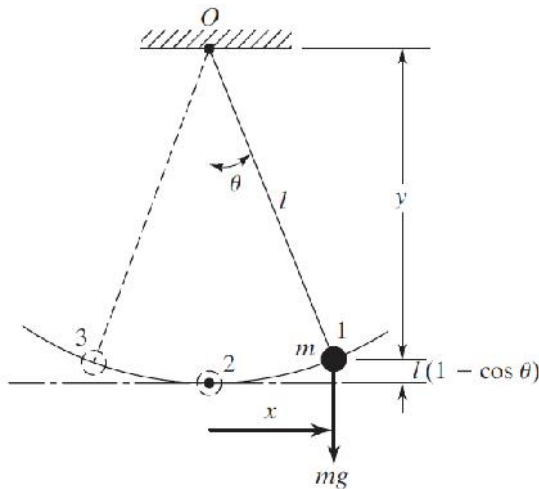
2.1. Dasar Teori

Konverter energi gelombang metode bandul vertikal menggunakan prinsip dasar bandul sederhana (*simple pendulum*). Saat bandul berayun bergeser sebesar q , maka massa m bergerak sejauh $l \sin q$ sepanjang arah horizontal

(x). Momen puntir atau torsi (T) yang ditimbulkan oleh berat dari massa (mg) terhadap titik pusat ayunan O adalah :

$$T = m (l \sin \theta) (Nm) \quad (1)$$

dimana : g = percepatan gravitasi (m/detik).



Gambar 1. Bandul Sederhana (Rao, 2011)

Daya (P) yang ditimbulkan ketika bandul berayun adalah sebesar :

$$P = T \quad (\text{Watt}) \quad (2)$$

dimana : ω = kecepatan sudut (rad/detik).

2.2. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian mengenai konverter energi gelombang metode bandul vertikal telah dilakukan baik dalam tahap pemodelan, prototipe maupun tahap rancang bangun dan uji cobanya.

Pemodelan konverter energi gelombang laut metode bandul vertikal seperti dilakukan Novianarenti *et al.* (2013) yaitu untuk menentukan parameter-parameter bandul untuk memperoleh energi maksimum. Dalam penelitiannya difokuskan pada respon kecepatan gerak bandul dengan variasi massa dan panjang bandul untuk memperoleh energi maksimum dari sebuah bandul yang berosilasi secara harmonik terhadap guncangan air. Diawali dengan pemodelan matematis pada sistem ponton-bandul dengan tiga derajat kebebasan kemudian dilakukan analisa terhadap respon gerakan ponton. Tujuannya adalah untuk mendapatkan satu model yang paling optimum. Hasil dari analisa tersebut menunjukkan bahwa nilai kecepatan tertinggi didapatkan pada amplitudo 6 cm dengan panjang lengan bandul 9 cm dan massa bandul 300 gr yaitu sebesar $783,8 \times 10^{-3}$ m/s dan kecepatan minimum didapatkan pada panjang lengan bandul 17 cm dan massa bandul 100 gr pada amplitudo 2 cm sebesar $2,4 \times 10^{-3}$ m/s. Ini menunjukkan bahwa semakin pendek lengan bandul, maka semakin tinggi kecepatan bandul dan dengan semakin besar massa bandul maka kecepatannya juga maksimum.

Noerpamoengkas dan Ulum (2015) melakukan pemodelan pengaruh frekuensi dan amplitudo eksitasi terhadap respon gerak dan daya mekanis pendulum vertikal pada konverter energi gelombang laut. Dalam penelitian ini mempertimbangkan penambahan transmisi daya pada

mekanisme yang dapat menurunkan nilai daya bangkitan karena adanya rugi-rugi sedangkan potensi daya mekanis pendulum lebih besar. Selain itu, pengaruh kondisi frekuensi eksitasi yang sama dengan frekuensi natural pendulum juga belum diketahui. Oleh karena itu, pendulum vertikal dimodelkan dengan variasi frekuensi eksitasi memasukkan nilai tersebut dan tanpa transmisi daya dalam penelitian ini. Model konfigurasi menggunakan model yang digunakan Novianarenti *et al.* (2013) dengan menghilangkan kekakuan dan redaman pada ponton/pelampung. Hal ini mengasumsikan gerak penopang mekanisme pendulum vertikal sama dengan gerak landasan pelampung yang terkena gelombang laut. Eksitasi berupa kemiringan ponton/pelampung dengan profil sinusoidal. Pemodelan menggunakan metode persamaan variabel keadaan. Metode ini memungkinkan mengambil respon sistem dinamis lebih dari satu, tidak seperti metode input-output atau fungsi transfer. Respon gerak pendulum mengalami penurunan saat frekuensi eksitasi mendekati frekuensi natural pendulum, namun hal tersebut tidak signifikan mempengaruhi daya mekanis pendulum. Semakin tinggi amplitudo dan frekuensi eksitasi semakin besar respon gerak dan daya mekanis pendulum. Kondisi daya mekanis pendulum yang tinggi baik untuk pemanenan energi gelombang laut. Model dalam penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi akibat transmisi daya pada pembangkit listrik yang menggunakan mekanisme yang sama.

Kemudian dalam penelitian berikutnya Noerpamoengkas dan Ulum (2017) menambahkan inersia pada sistem. Pemodelan pendulum vertikal yang sederhana menyebabkan pengaruh massa tidak signifikan terhadap respon gerak pendulum. Demikian juga dengan model dengan penambahan transmisi daya tidak mengakomodir kondisi resonansi. Oleh karena itu, penelitian ini memodelkan dan menganalisis respon gerak pendulum pada konverter energi gelombang dengan inersia tambahan saat resonansi. Amplitudo respon pendulum relatif terhadap arah vertikal gravitasi semakin lama semakin membesar hingga dibatasi nilai amplitudo pergerakan ponton pada kondisi tunak, sedangkan respon relatif terhadap ponton semakin mengecil. Fenomena ini tidak terjadi pada kondisi di luar resonansi.

Rancang bangun konverter energi gelombang dilakukan antara lain oleh Satria *et al.* (2014) Dalam penelitiannya dibuat alat pembangkit listrik dengan memanfaatkan gelombang air laut atau Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul secara vertikal menggunakan bandul ganda sebagai penggeraknya (PLTGLSBG), dengan bandul sebagai pengeraknya yang di teruskan transmisi dan disimpan dalam generator. Sistem bandul ganda secara vertikal menungkinkan tidak ada gerak terbuang dari input-an ayunan bolak-balik yang akan ditransmisikan menjadi energi listrik. Hasil dari penelitian ini adalah alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul Ganda (PLTGL-SBG) Skala Laboratrium dapat menghasilkan daya sampai dengan 632 watt dengan torsi 251 Nm. Desain poros yang digunakan adalah 40 mm karena berdasarkan perhitungan desain poros yang diijinkan adalah 36,65 mm. Sedangkan Jenis rantai transmisi yang digunakan adalah berdasarkan standar ISO 606:2004, dengan jumlah gigi sproket penggerak utama (gear): 45 mm;

diameter pitch gear: 363,9 mm; jumlah gigi sproket yang akan digerakkan (pinion): 19 mm; diameter pitch pinion: 77,16 mm.

Peneliti lain, Zamri *et al.* (2015) juga melakukan rancang bangun konverter energi gelombang laut metode bandul vertikal (PLTGSB) dengan menggunakan empat bandul. Dengan menggunakan transmisi sehingga gerak bandul memutar generator tiga *phase* dengan daya 500 watt pada 1400 rpm. Dari hasil uji coba didarat, dengan menggoyangkan ponton secara manual maka didapat putaran lebih kurang 90 rpm. Dan dari hasil pengukuran dihasilkan arus sebesar 1,2-1.6 Ampere dengan voltase sebesar 18-24 Volt. Sehingga daya yang dihasilkan adalah 31,2 Watt.

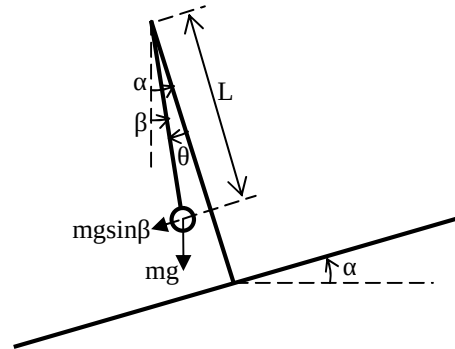
3. Metodologi

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah konverter energi gelombang air dan bak air untuk mensimulasikan gerakan konverter di permukaan air. Alat penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 2. Konverter dalam penelitian ini secara garis besar terdiri dari ponton dan bandul vertikal yang dipasang pada tiang. Lengan bandul memutar poros sehingga menimbulkan daya mekanis yang bisa dimanfaatkan.



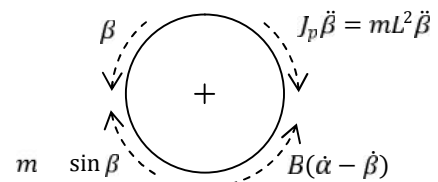
Gambar 2. (a) Konverter Energi Gelombang; (b) Bak Air

Ponton yang bergerak bolak balik karena gelombang air menyebabkan bandul berayun yang kemudian memutar poros. Gerak bandul vertikal pada konverter energi mengikuti suatu persamaan gerak sesuai model dinamis yang telah dibangun oleh Noerpamoengkas dan Ulum (2015).



Gambar 3. Model Dinamis Pendulum Vertikal Di Atas Ponton (Noerpamoengkas dan Ulum, 2015).

Sudut α adalah sudut simpangan ponton terhadap garis semu horisontal atau sudut simpangan tiang pendulum terhadap garis semu vertikal. Sudut β adalah sudut simpangan bandul terhadap garis semu vertikal. Sudut β merupakan acuan untuk gerak osilasi pendulum. Sudut θ adalah sudut simpangan pendulum relatif terhadap tiang pendulum. *Free Body Diagram* dari model tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. *Free Body Diagram* Gerak Bandul Vertikal pada Konverter Energi

Dari *free body diagram* pada gambar 4 diturunkan persamaan gerak bandul vertikal di atas ponton sebagai berikut.

$$\sum T = J_p \ddot{\beta} \\ -m \sin \beta + B(\alpha - \beta) = J_p \ddot{\beta}$$

Persamaan di atas dilinierisasi sehingga menjadi

$$-m + B(\alpha - \beta) = J_p \ddot{\beta} \\ J_p \ddot{\beta} + B\beta - m = B\alpha \quad (3)$$

Momen inersia pendulum besarnya adalah $J_p = mL^2$, sehingga persamaan (1) bisa ditulis menjadi :

$$mL^2 \ddot{\beta} + B\beta - m = B\alpha \quad (4)$$

Dari persamaan (2) diperoleh frekuensi natural ω_n gerak pendulum vertikal yaitu :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{m}{mL^2}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (5)$$

Torsi yang dihasilkan bandul dihitung dengan persamaan :

$$T = m \sin \beta L \quad (6)$$

Dalam penelitian ini panjang lengan bandul (L) divariasikan yaitu 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 meter. Sedangkan variasi massa bandul (m) yang digunakan yaitu 0,5; 0,75 dan 1 kg. Torsi dihitung pada posisi bandul 15° relatif terhadap tiang bandul.

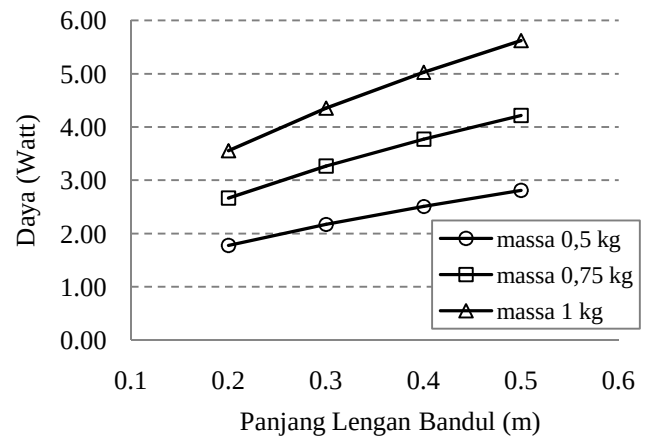
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan daya mekanis konverter disajikan pada tabel 1 berikut ini. Masing-masing massa dipasangkan dengan masing-masing lengan bandul yang panjangnya juga dibuat variasi.

Tabel 1. Daya Mekanis Konverter Dengan Metode Bandul Vertikal

Massa, m (kg)	Panjang Lengan, L (m)	ω (rad/detik)	Torsi, T (Nm)	Daya, P (Watt)
0,5	0,2	7,00	0,25	1,75
	0,3	5,72	0,38	2,17
	0,4	4,95	0,51	2,52
	0,5	4,43	0,63	2,79
0,75	0,2	7,00	0,38	2,67
	0,3	5,72	0,57	3,27
	0,4	4,95	0,76	3,77
	0,5	4,43	0,95	4,22
1	0,2	7,00	0,51	3,55
	0,3	5,72	0,76	4,35
	0,4	4,95	1,02	5,03
	0,5	4,43	1,27	5,62

Berdasarkan data tabel 1 di atas kemudian dibuat grafik seperti pada gambar 5 berupa grafik perbandingan daya mekanis yang dihasilkan masing-masing massa bandul.



Gambar 5. Grafik Hubungan Massa Bandul, Panjang Lengan dan Daya Mekanis Yang Dihasilkan Konverter

Dari grafik gambar 5 terlihat bahwa panjang lengan 0,5 meter menghasilkan daya yang besar pada masing-masing massa bandul dibandingkan panjang lengan yang lebih pendek. Hal ini disebabkan karena dengan lengan bandul yang panjang akan menghasilkan torsi yang besar, meskipun dengan lengan yang panjang kecepatan sudut gerakan bandul menurun. Sedangkan pengaruh massa terlihat bahwa massa 1 kg menghasilkan daya yang besar dibandingkan dengan massa bandul yang lebih kecil. Karena dengan massa bandul yang besar torsi yang dihasilkan ayunan bandul juga besar.

Meskipun dengan kecepatan sudut yang rendah tetap bisa menghasilkan daya yang besar, sebaiknya dipilih massa yang lebih besar dengan panjang lengan bandul yang lebih pendek untuk menghasilkan kecepatan sudut yang tinggi. Sehingga putaran poros yang terhubung dengan lengan bandul juga tinggi. Hal ini akan memudahkan dalam perancangan transmisi untuk menyesuaikan dengan putaran tinggi yang dibutuhkan generator.

5. Kesimpulan

Analisis secara teoritis mengenai potensi daya mekanis yang dihasilkan konverter energi metode bandul vertikal di air tenang yang telah dilakukan memberikan hasil bahwa daya mekanis yang lebih besar dihasilkan dengan menggunakan massa bandul yang lebih besar pula. Sedangkan untuk menghasilkan putaran poros yang terhubung dengan lengan bandul yang lebih cepat, panjang lengan bandul digunakan adalah yang lebih pendek.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana penelitian yang telah diberikan melalui skema Penelitian Dosen Pemula tahun 2018 sehingga penelitian ini terlaksana.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2014. Renstra KESDM 2015-2019. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Noerpamoengkas, A., dan Ulum, M. 2015. Pemodelan Pengaruh Frekuensi dan Amplitudo Eksitasi Terhadap Respon Gerak dan Daya Mekanis Pendulum Vertikal pada Konverter Energi Gelombang Laut. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III. Institut Teknologi Adhitama Surabaya, 201 – 210.
- Noerpamoengkas, A., dan Ulum, M. 2017. Pemodelan Gerak Pendulum Vertikal Pada Konverter Energi Gelombang Berinersia Tambahan Saat Resonansi. Jurnal IPTEK 21 (1), 61-68.
- Novianarenti, E., Susatio Y., dan Hantoro, R. 2013. Penentuan Parameter Bandul Matematis untuk Memperoleh Energi Maksimum dengan Gelombang dalam Tangki. Jurnal Teknik Pomits 2 (1), B122 – B127.
- Prakash, S.S., Mamun, K.A., Islam, F.R., Mudliar, R., Pau'u, C., Kolivuso, M., dan Cadrallala, S. 2016. Wave Energy Converter : A Review of Wave Energy Conversion Technology. 2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering, 71-77.
- Rao, Singeresu, S. 2011. Mechanical Vibration. Fifth Edition. Prentice Hall. USA.
- Satria, D., Chan, Y., dan Kurniawan, D. 2014. Rancang Bangun Alat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul Ganda (PLTGL-SBG) Skala Laboratorium. Prosiding Simposium RAPI XIII-2014 FT UMS, M-41 – M-47.
- Zamri, A., Mura, Y., Asmed., dan Adril E. 2015. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistim Empat Bandul. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 1-6