

PEMODELAN MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) TIPE PELAMPUNG-PIEZOELECTRIC

Yabes David L.¹⁾, Wiwiek Hendrowati²⁾.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111 Indonesia

e-mail: yabesdavidlosong@gmail.com¹⁾, wiwiek@me.its.ac.id²⁾

Abstrak

Permasalahan energi merupakan masalah yang dari dulu diperbincangkan karena sumber energi yang tersedia di alam sudah sangat terbatas, sehingga diperlukan sumber energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan seperti gelombang laut yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Salah satu media *energy converter* yang masih dikembangkan dan diteliti saat ini adalah material *piezoelectric*, sehingga pengkajian elemen PZT belum selesai hingga saat ini. Pada tugas akhir ini dimodelkan dan dianalisa energi listrik bangkitan yang akan dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan tipe pelampung-*piezoelectric*. Pergerakan gelombang laut sebagai eksitasi mekanisme mengerjakan pelampung yang terletak dipermukaan air laut. Gerakan naik turun gelombang yang bergerak akan diteruskan ke sebuah massa pada mekanisme PLTGL. Massa tersebut menerima gaya bangkitan dan menyebabkan gerakan naik turun yang mengerjakan material piezoelectric dan mengalami defleksi karena pergerakan gelombang air laut. Defleksi yang terjadi akan menghasilkan energi listrik bangkitan yang diteliti. Pada penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang sebesar 2 cm, 6 cm, dan 10 cm. Kemudian variasi frekuensi gelombang laut sebesar 0,8 Hz, 1 Hz, 1,2 Hz serta variasi jumlah piezoelectric sebesar 5, 10, dan 15 buah agar mendapatkan energi bangkitan yang optimum. Hasil dari tugas akhir ini adalah terciptanya pemodelan dan analisa energi dari model PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric* yang mampu menghasilkan grafik respon antara lain *displacement*, kuat arus, voltase dan daya listrik bangkitan terhadap waktu. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan bahwa tinggi dan frekuensi gelombang laut serta jumlah elemen PZT mempengaruhi daya bangkitan yang dihasilkan pemodelan ini. Daya optimum yang dihasilkan model ini adalah sebesar 0,4648 watt pada frekuensi gelombang 1 Hz, tinggi gelombang 10 cm dan jumlah PZT sebanyak 15 buah.

Kata kunci : *Renewable Energy*, energi listrik bangkitan, *energy harvesting*, *cantilever piezoelectric*, PLTGL, gelombang laut.

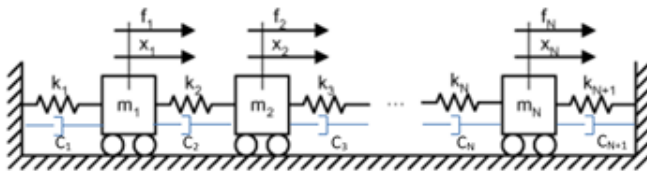
I. PENDAHULUAN

ENERGI telah menjadi masalah dunia untuk beberapa tahun ke depan sedangkan energi yang digunakan selama ini seperti: minyak bumi, gas alam dan batu bara merupakan sumber energi yang tidak

terbarukan dan dari waktu ke waktu semakin menipis. Masalah inilah yang kemudian mendorong banyak teknisi dan ilmuwan untuk melakukan pemanfaatan energi pada sumber energi yang tidak terbatas seperti gelombang laut.

Luas wilayah laut Indonesia yang tiga kali lebih besar dari luas daratan membuat Indonesia memiliki sumber energy yang besar untuk dipanen. *Energy Harvesting* atau memanen energy adalah proses dimana energy berasal dari sumber eksternal ditangkap dan dikonversikan menjadi energy listrik. Salah satu media *converter energy* yang dikembangkan saat ini adalah material *piezoelectric*. Penelitian material *Piezoelectric* sendiri masih sedang dalam tahap pengembangan dan masih perlu dikaji lebih dalam karena elemen ini memiliki banyak sifat yang akan mempengaruhi energi bangkitannya.

Pada penelitian ini dirancang sebuah model mekanisme Pembangkit



Gambar. 1. Sistem dengan satu derajat kebebasan [5]

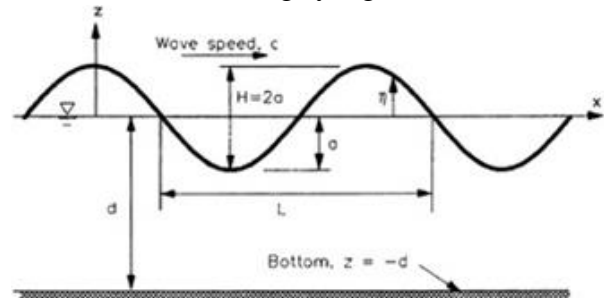
Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe pelampung-*piezoelectric* berskala laboratorium sebelum diaplikasikan ke laut lepas di wilayah Indonesia. Gelombang air laut yang bergerak naik turun akan digunakan untuk menggerakkan sebuah massa yang tersambung dengan material *piezoelectric*. Hal ini menyebabkan terjadinya defleksi pada material *piezoelectric* dan mengakibatkan timbulnya beda potensial pada sisi material *piezoelectric* dan menghasilkan energi listrik.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) merupakan jumlah koordinat bebas yang diperlukan untuk menentukan posisi dari sebuah sistem pada setiap saat terhadap suatu referensi yang diam. Multi derajat

kebebasan (MDOF) adalah sistem yang digunakan untuk menentukan kedudukan massa dalam ruang yang membutuhkan



Gambar. 2. Karakteristik ombak [7]

banyak (n) arah koordinat bebas[5]. Contoh multi *degree of freedom* dapat dilihat seperti pada gambar 1.

B. Teori Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal [7].

Pada tahun 1845, Airy mengemukakan untuk pertama kalinya teori mengenai gelombang laut. Pemodelan gelombang laut linier dapat dilihat pada gambar 2.

d : jarak antar permukaan air laut rata dengan dasar laut

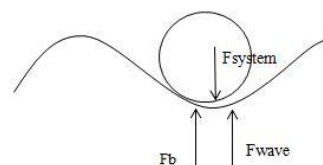
a : amplitudo gelombang

H : tinggi gelombang = 2a

L : panjang gelombang

C. Energi Gelombang

Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetik dan potensial [7] yang dirumuskan sebagai berikut:



Gambar. 3. Free Body Diagram pada pelampung

$$E = \frac{1}{2} \rho g A \quad (1)$$

dengan : g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

ρ = densitas air (1000 kg/m³)

A = amplitudo gelombang (m)

Kemudian dengan menggunakan amplitudo gelombang, daya ombak dapat juga ditulis sebagai fungsi tinggi gelombang, H , sehingga persamaanya menjadi

$$P_{wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32 \pi} \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut, dapat diketahui gaya ombak yang dikonversikan oleh mekanisme PLTGL dengan rumusan sebagai berikut

$$F_{wave} = \frac{P_{wave} T}{\lambda} \quad (3)$$

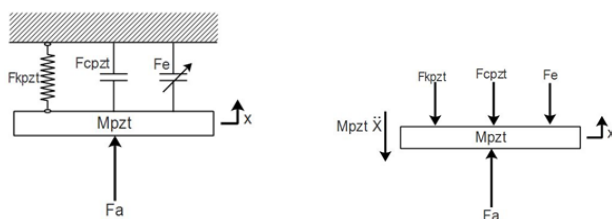
Kemudian untuk mencari gaya yang akan menggerakkan elemen PZT, dicari generated force ($F_{generated}$) berdasarkan gambar 3 dan menghasilkan perumusan sebagai berikut

$$\Sigma = (F_{wave} + F_{bouyancy}) - F_{system} \quad (4)$$

D. Piezoelectric

Piezoelectric material merupakan material (pada umumnya kristal batuan, keramik, termasuk tulang dan polimer) yang memiliki kemampuan untuk membangkitkan potensial listrik sebagai respon dari tegangan mekanik yang diberikan pada material tersebut.

Jika suatu elemen PZT diberikan gaya luar dan mengalami defleksi, maka terdapat gaya-gaya yang terjadi pada elemen PZT



Gambar. 4. Free Body Diagram elemen PZT

yang dapat dilihat pada gambar 4. Persamaan gerak elemen PZT adalah:

$$F_a(t) = M_{pzt} \ddot{x}(t) + C_{pzt} \dot{x}(t) + k_{pzt} x(t) + \theta V_p(t) \quad (5)$$

Rumus voltase bangkitan elemen PZT adalah:

$$V = k_{31} \sqrt{\frac{2W_{mech}}{C}} \quad (6)$$

Dimana :

$$W_{mech} = F x_{piezo} \quad (6)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{h_{piezo}} \quad (7)$$

Sedangkan rumus arus bangkitan dari elemen PZT adalah

$$\theta \dot{x}(t) - C_p \dot{V}_p(t) = I(t) \quad (8)$$

HASIL DAN DISKUSI

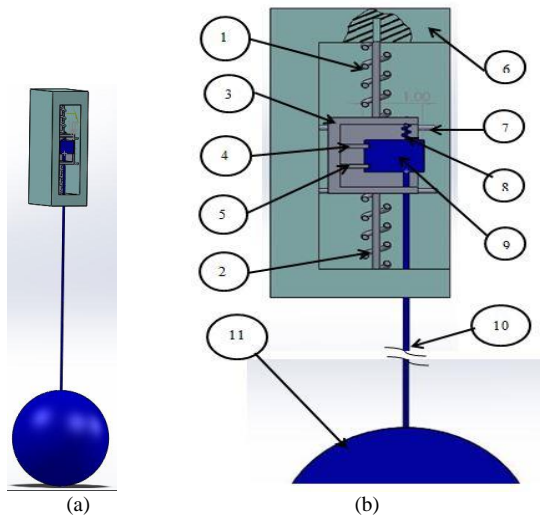
Mekanisme PLTGL Tipe Pelampung-Piezoelectric

Pemodelan pada mekanisme PLTGL tipe pelampung-piezoelectric dapat dilihat pada gambar 5 dengan data dan spesifikasi sebagai berikut:

- Variasi Frekuensi Gelombang (f) = 0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz
- Variasi Tinggi Gelombang (H) = 2 cm; 6 cm; 10 cm
- Massa Beban 1 (m_1) = 0,145 kg
- Massa Beban 2 (m_2) = 0,150 kg
- Massa Pelampung = 0,363 kg
- Massa System = 0,658 kg
- Diameter Pelampung (D_{pel}) = 0,13 m
- Konstanta Pegas 1 (k_1) = 500 N/m
- Konstanta Pegas 2 (k_2) = 900 N/m
- Piezoelectric (MiniSense 100)
- Electromechanical coupling factor (k_{31}) = 12%
- Kapasitansi *Piezoelectric* (C) = 244 pF
- Perpindahan *Piezoelectric* (X_p) = 6 mm
- Rangkaian *Piezoelectric* = Paralel
- Konstanta Pegas *Piezoelectric* (k_p) = 17,5 N/m
- Dimensi *Piezoelectric* = 17,8 x 6 x 1 mm
- Massa Elemen *Piezoelectric* (m_{pzt}) = 0,00006 kg
- *Mechanical Losses Piezoelectric* (η) = 0,000056

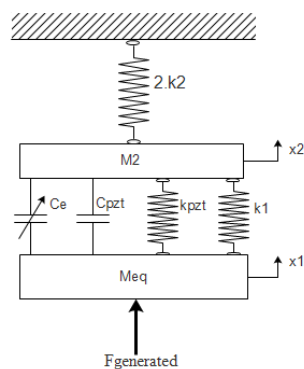
B. Analisa Pemodelan

Cara kerja mekanisme ini adalah dengan adanya pergerakan gelombang akan menggerakkan pelampung yang telah terhubung dengan *rigid wire*. *Rigid wire* akan bergerak naik turun sesuai dengan arah pergerakan gelombang.



Gambar. 5. Pemodelan PLTGL tipe pelampung-piezoelectric (a) tampak 3D; (b) tampak ketika dipotong

Kemudian *rigid wire* akan menggerakkan massa 1 yang telah terhubung dengan



Gambar. 6. Free body diagram gerakan mekanis PLTGL

cantilever piezoelectric. *Piezoelectric* akan mengalami *displacement* yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Namun, karena elemen *piezoelectric* memiliki batas maksimal *displacement*, maka ketika *displacement* yang terjadi melebihi batas maksimal *piezoelectric*, pegas 3 akan menekan *housing piezoelectric* sehingga gerakan akan dilanjutkan oleh *housing piezoelectric* tersebut. Hal ini dilakukan agar kerusakan berupa patahan pada

Tabel 1.
Data Hasil Pengujian Fwave dan Displacement pelampung

F (Hz)	H (cm)	Fwave RMS (N)	Displacement Buoy RMS (mm)
0,8	2	0.0042	0.52
	6	0.1132	2.497
	10	0.524	4.48
1	2	0.0027	0.521
	6	0.0724	2.503
	10	0.3353	4.485
1,2	2	0.0019	0.523
	6	0.0503	2.505
	10	0.2328	4.487

piezoelectric dapat dihindari. *Free body diagram* mekanisme dapat dilihat pada gambar 6.

Analisa pemodelan ini dilakukan dengan melakukan simulasi dengan memasukkan parameter-parameter yang telah ada sehingga didapatkan grafik dan nilai RMS dari Fwave dan

Keterangan gambar:

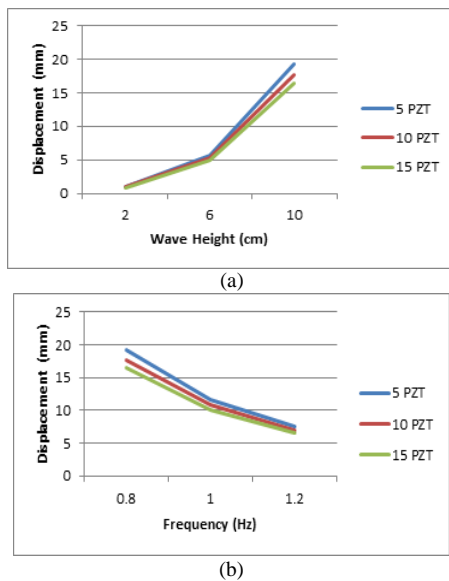
1. Pegas 1
2. Pegas 2
3. Massa 2
4. *Cantilever Piezoelectric* 1
5. *Cantilever Piezoelectric* 2
6. *Housing*
7. *Rod*
8. Pegas 3
9. Massa 1
10. *Rigid Wire*
11. Pelampung

displacement pelampung seperti pada tabel 1.

Kemudian setelah didapatkan nilai Fwave, disimulasikan kembali untuk mendapatkan nilai voltase, arus dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh mekanisme.

C. Pembahasan

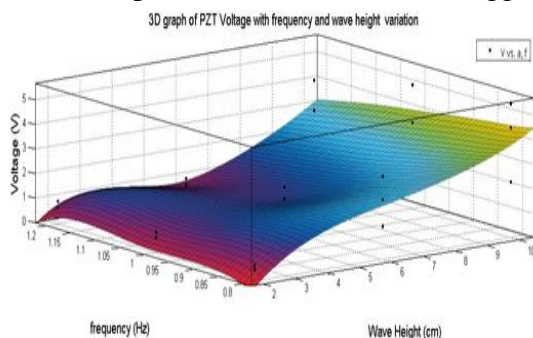
Setelah dilakukan analisa mengenai perpindahan massa 1, maka selanjutnya



Gambar. 7. Grafik perpindahan elemen PZT (a) terhadap tinggi gelombang; (b) terhadap frekuensi gelombang

dilakukan pembahasan mengenai pengaruh tinggi gelombang, frekuensi dan jumlah PZT terhadap perpindahan massa 1 dan elemen PZT yang nantinya akan berpengaruh terhadap voltase dan arus bangkitan yang akan dihasilkan oleh elemen PZT. Pada gambar 7 akan diperlihatkan grafik perpindahan elemen PZT.

Pada gambar 7 (a) dapat dilihat bahwa semakin tinggi gelombang laut yang diberikan maka semakin besar pula *displacement* dari elemen PZT. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi gelombang maka semakin besar pula gaya yang akan dikenakan pada elemen PZT sehingga



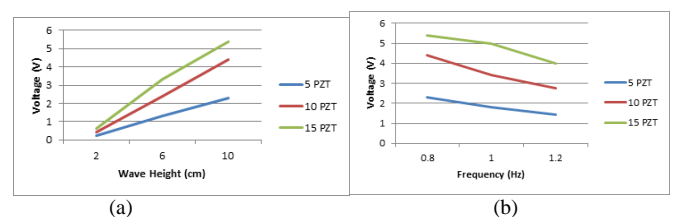
Gambar. 8 Grafik Voltase Bangkitan Terhadap frekuensi dan tinggi gelombang

pergerakannya juga akan semakin besar. Dari gambar 7 (a) juga dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah elemen PZT maka semakin kecil perpindahan yang terjadi. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya penghambat pergerakan massa 1 sehingga pergerakannya menjadi semakin kecil. Maka dapat terlihat bahwa jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah merupakan perpindahan yang sangat besar karena penghambat pergerakannya sangat sedikit.

Pada gambar 7 (b) dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang maka pergerakan elemen PZT akan semakin kecil pula. Hal ini disebabkan oleh frekuensi gelombang berbanding terbalik dengan F_{wave} (gaya bangkitan gelombang laut) yaitu semakin besar frekuensi gelombang maka semakin kecil pula F_{wave} yang bekerja pada elemen PZT. Terlihat juga perpindahan dengan jumlah elemen PZT sebanyak 5 buah merupakan perpindahan yang terbesar dikarenakan sedikitnya penghambat (elemen PZT) gerakan massa 1.

Kemudian pada gambar 8 dan 9 diperlihatkan voltase bangkitan dari elemen PZT dengan variasi frekuensi dan tinggi gelombang serta jumlah elemen PZT

Data voltase yang telah didapatkan dari simulasi PLTGL tipe pelampung-piezoelectric, kemudian dilakukan metode *polynomial fitting data* sehingga didapatkan grafik 3D seperti yang ada pada gambar 8 dan grafik dengan variasi tinggi dan variasi gelombang terhadap jumlah elemen PZT seperti pada gambar 9. Dari

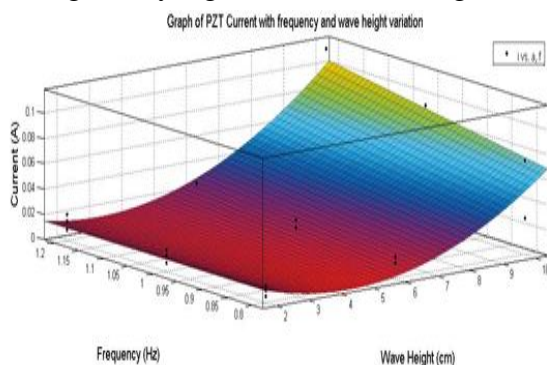


Gambar. 9 Grafik Voltase Bangkitan Terhadap jumlah elemen PZT (a) dengan variasi tinggi gelombang (b) variasi frekuensi

grafik 3D dan 2D yang telah didapatkan dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi

gelombang yang dikenakan pada model PLTGL maka voltase bangkitannya semakin tinggi serta semakin banyak elemen PZT yang digunakan, maka voltasenya akan semakin besar pula. Namun, voltase bangkitan akan menurun sejalan dengan besarnya nilai frekuensi gelombang laut yang dikenakan. Terlihat bahwa voltase bangkitan terbesar ada pada frekuensi gelombang 0,8 Hz dengan tinggi gelombang 10 cm.

Hal ini dikarenakan semakin tinggi amplitudo gelombang, maka gaya bangkitannya atau F_{wave} akan semakin tinggi pula. Jika gaya bangkitannya semakin tinggi maka gaya yang bekerja yang akan menggerakkan elemen PZT akan semakin tinggi sehingga defleksi yang akan terjadi di elemen PZT akan semakin besar dan mengakibatkan voltase bangkitannya akan semakin besar pula. Jumlah elemen PZT juga berpengaruh terhadap voltase bangkitan yang dihasilkan. Pada gambar 9

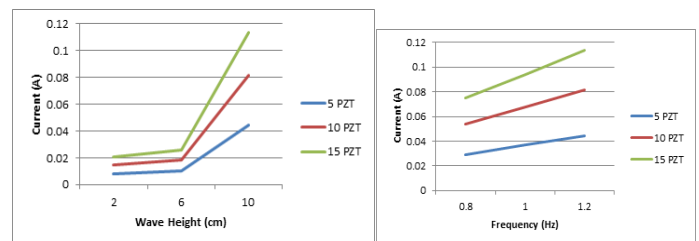


Gambar. 10 Grafik Arus Bangkitan Terhadap frekuensi dan tinggi gelombang

diperlihatkan bahwa jumlah elemen PZT sebanyak 15 buah menghasilkan voltase bangkitan yang paling besar. Semakin banyak elemen PZT maka sebenarnya voltase bangkitan per elemen PZT akan semakin kecil, namun perbedaannya sangat kecil sehingga ketika dikalikan dengan jumlah elemen PZT yang divariasikan maka voltase bangkitannya akan semakin besar. Tetapi grafik voltase mengalami penurunan ketika peningkatan frekuensi gelombang terjadi. Semakin besar frekuensi gelombang, maka voltase bangkitannya semakin kecil. Hal ini dikarenakan ketika

frekuensi gelombang laut semakin besar, maka gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan elemen PZT akan semakin kecil pula sehingga menyebabkan menurunnya voltase bangkitan yang dihasilkan oleh elemen PZT. Dari persamaan (3) diketahui bahwa hubungan frekuensi gelombang dan F_{wave} berbanding terbalik.

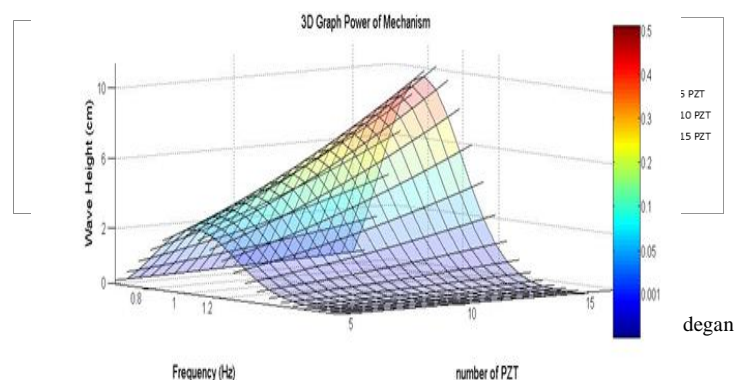
Lalu pada gambar 10 dan 11 diperlihatkan grafik arus bangkitan



Gambar. 11 Grafik Arus Bangkitan Terhadap jumlah elemen PZT
(a) variasi tinggi gelombang (b) variasi frekuensi

terhadap tinggi gelombang dan frekuensi gelombang serta jumlah elemen PZT.

Dari grafik 3D pada gambar 10 dan gambar 11 yang telah didapatkan dapat dilihat *trend* grafik arus bangkitan semakin naik ketika tinggi gelombang semakin naik pula, dan pada gambar 10 mengalami kenaikan pula ketika frekuensi gelombang semakin besar. Hal ini disebabkan berdasarkan persamaan (8) yaitu persamaan arus bangkitan dari elemen PZT. Arus bangkitan dipengaruhi oleh kecepatan gerakan elemen PZT. Ketika tinggi gelombang semakin besar, maka defleksi yang terjadi akan semakin besar pula dan jika elemen PZT hendak kembali ke titik



Gambar. 12 Grafik daya Bangkitan Terhadap frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT

semula maka kecepatannya akan besar

untuk mencapai titik semula. Hal ini didukung oleh persamaan (8) yang dimana arus bangkitan yang dihasilkan elemen PZT dipengaruhi oleh kecepatan pergerakan elemen PZT. Semakin tinggi frekuensi dari gelombang laut, maka semakin mendekati pula frekuensi natural dari elemen PZT. Sehingga semakin besar frekuensi gelombang laut, semakin besar pula kecepatan pergerakan elemen PZT sehingga semakin besar pula arus bangkitan yang dihasilkan. Sedangkan jumlah elemen PZT sangat berpengaruh terhadap nilai arus bangkitan. Pada gambar 11 dapat dilihat bahwa arus bangkitan yang paling besar dihasilkan oleh jumlah elemen PZT sebesar 15 buah. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah elemen PZT maka semakin banyak pula faktor pengkali pada nilai arus bangkitan per satu elemen PZT. Sehingga dari gambar 11 (b) dapat diketahui bahwa arus bangkitan terbesar terdapat pada kondisi frekuensi gelombang 1,2 Hz dan tinggi gelombang 10 cm.

Setelah dilakukan analisa terhadap pengaruh frekuensi dan amplitude terhadap energy bangkitan, maka pada gambar 12 merupakan pengaruh dari frekuensi, tinggi gelombang dan jumlah PZT terhadap energy listrik yang dihasilkan.

Pada gambar 10 diperlihatkan grafik 3 dimensi dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Fitting Data* dan *Binomial Gauss Equation*. Dapat dilihat bahwa pada saat frekuensi gelombang 1 Hz, energi listrik yang dihasilkan mengalami titik optimum. Tetapi untuk tinggi gelombang dan jumlah PZT yang digunakan, semakin tinggi gelombang dan semakin banyak elemen *Piezoelectric* yang digunakan maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Namun frekuensi optimum berada pada frekuensi gelombang 1 Hz. Hal ini dikarenakan titik potong antara nilai maksimum voltase bangkitan berada pada frekuensi gelombang 0,8 Hz dan nilai arus bangkitan maksimum berada pada

frekuensi gelombang 1,2 Hz berada pada nilai frekuensi 1 Hz dengan menggunakan perumusan untuk mencari daya adalah $P = vxI$. Sehingga titik tertinggi, yaitu dengan nilai daya bangkitan 0,4648 watt, dari grafik 3 dimensi pada gambar 4.26 memiliki nilai frekuensi sebesar 1 Hz; tinggi gelombang 10 cm; serta jumlah elemen *Piezoelectric* sebanyak 15 PZT yang akhirnya membuat pemodelan PLTGL dengan tipe Pelampung-*Piezoelectric* mencapai titik optimumnya.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Jumlah elemen *Piezoelectric* berpengaruh terhadap energi listrik bangkitan yang dihasilkan. Semakin banyak elemen *Piezoelectric* pada pemodelan mekanisme maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh pemodelan PLTGL tipe pelampung-*piezoelectric*. Nilai daya bangkitan terbesar pada saat 0,8 Hz adalah 0,40163 watt; pada frekuensi 1 Hz adalah 0,4648 watt; dan pada frekuensi 1,2 Hz adalah 0,4527 watt dengan jumlah elemen PZT masing-masing sebanyak 15 buah
2. Frekuensi dan tinggi gelombang berpengaruh terhadap energi bangkitan yang dihasilkan. Semakin tinggi gelombang laut yang disimulasikan maka energi bangkitannya akan semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi frekuensi gelombang laut yang disimulasikan maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan. Nilai energi listrik bangkitan meningkat ke frekuensi 0,8 Hz, mencapai puncak pada frekuensi 1 Hz dan mengalami penurunan pada frekuensi 1,2 Hz dengan tinggi gelombang sebesar 10 cm sedangkan daya bangkitan akan semakin meningkat jika tinggi gelombang semakin besar. Pada frekuensi 1 Hz nilai daya yang

dihasilkan pada tinggi gelombang 2 cm, 6 cm, dan 10 cm berturut-turut adalah 0,0134 watt; 0,03756 watt; dan 0,4648 watt.

3. Daya listrik bangkitan terbesar yang mampu dihasilkan oleh pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe Pelampung-*Piezoelectric* dengan 3 variasi frekuensi gelombang laut (0,8 Hz; 1 Hz; 1,2 Hz), 3 variasi tinggi gelombang laut (2 cm, 4 cm, 6 cm) dan 3 variasi jumlah elemen PZT (5, 10, 15) terjadi ketika pemodelan mekanisme dikenakan frekuensi gelombang 1 Hz dengan 10 cm tinggi gelombang dan menggunakan 15 buah elemen PZT, yaitu dengan nilai 0,4648 watt.

- [6] Vinolo, Carlos, et al., 2010. "Sea Waves Energy Harvester Based on Impacts". *SARTI Research*
- [7] McCormick, Michael E. 2009. "Ocean Engineering Mechanics with Applications". New York: Cambridge Press

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indraswara, Joenta, 2015. "Studi Karakteristik Voltase Bangkitan yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Menggunakan Metode Cantilever *Piezoelectric*-Pengungkit Degan Variasi Jumlah Blade Pemukul dan Frekuensi Sumber Getar". Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press
- [2] Mineto, Andreza T. 2010. "Modeling of a Cantilever Beam for Piezoelectric Energy Harvesting". *9th Brazilian Confrence on Dynamics, Control and their Applications*.
- [3] Priya, Shashank. Daniel J. Inman. 2009. "Energy Harvesting Technologies", Springer Science, Business Media
- [4] R. Murray, J. Rastegar. 2009. "Novel Two-Stage Piezoelectric-Based Ocean Wave Energy Harvester for Moored or Unmoored Buoys". *Omnitek Partners, LLC, Bay Shore, Long Island, NY*.
- [5] S. Rao, Singiresu, 2004. "Mechanical Vibration". Singapore: Prentice Hall PTR