

Pemodelan dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air (PLTG-AIR) Tipe Pelampung Silinder Dengan *Cantilever Piezoelectric*

Sherly Octavia Saraswati dan Wiwiek Hendrowati
Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: wiiwiek@me.its.ac.id

Abstrak—Gelombang laut merupakan pergerakan naik dan turunnya muka air laut yang membentuk lembah dan bukit. Pemanfaatan energi gelombang laut untuk sumber energi alternatif sangat cocok diterapkan di Indonesia, dimana luas lautannya mencapai 2/3 dari keseluruhan luas Indonesia. Salah satu cara memanfaatkan energi gelombang laut adalah untuk menghasilkan listrik, atau yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Pada penelitian ini dibuat simulasi mekanisme PLTG-Air tipe pelampung silinder dengan *cantilever piezoelectric* sebagai pengkonversi energi mekanik dari gearbox menjadi energi listrik, dimana penelitian yang dilakukan menggunakan skala laboratorium. *Cantilever piezoelectric* material merupakan material yang memiliki kemampuan untuk membangkitkan potensial listrik sebagai respon dari tegangan mekanik yang diberikan pada material tersebut. Blade dipasang pada poros keluaran dari gearbox. Blade inilah yang memukul *cantilever piezoelectric* hingga mengalami defleksi. Defleksi dari *cantilever piezoelectric* menimbulkan voltase atau energi listrik. Variasi yang digunakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah frekuensi gelombang laut (1Hz, 2Hz, dan 3Hz), dan jumlah *cantilever piezoelectric* (1, 3, dan 5). Dari hasil simulasi didapatkan hasil bahwa semakin banyak *cantilever piezoelectric* yang digunakan, semakin besar energi listrik yang dihasilkan serta semakin besar frekuensi yang diberikan pada mekanisme, semakin kecil energi bangkitan yang dihasilkan. Sehingga nilai daya bangkitan maksimal yang dihasilkan 4.92E-06 Watt dengan menggunakan 5 *cantilever piezoelectric* pada frekuensi 1Hz.

Kata Kunci—Frekuensi, energi listrik, *cantilever piezoelectric*, PLTG-Air tipe pelampung silinder, gelombang air.

I. PENDAHULUAN

GELOMBANG laut merupakan pergerakan naik dan turunnya muka air laut yang membentuk lembah dan bukit. Gelombang akan mempunyai bentuk ideal jika mengikuti gerak sinusoidal. Pemanfaatan energi gelombang laut untuk sumber energi alternative sangat cocok diterapkan di Indonesia, dimana berdasarkan UU No.4/PRP/1960 tentang perairan Indonesia, wilayah Indonesia mencapai 5.193.252 km² yang terdiri atas 1.890.754 km² luas daratan dan 3.302.498 km² luas lautan. Dengan kata lain luas lautannya mencapai 2/3 dari keseluruhan luas Indonesia. Inilah yang menjadikan Indonesia berpeluang besar sebagai salah satu negara yang mengembangkan *energy harvesting* (pemanen energi) dengan memanfaatkan potensi gelombang laut di perairan Indonesia.

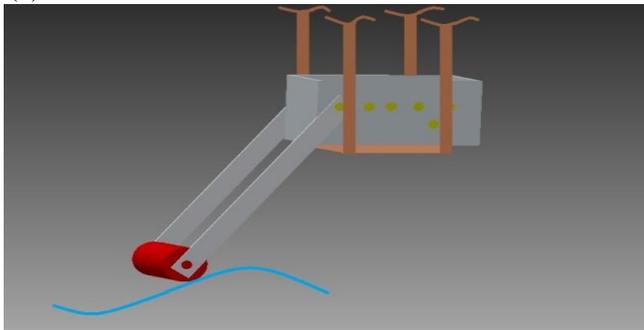
Salah satu cara memanfaatkan energi gelombang laut adalah untuk menghasilkan listrik, atau yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Sudah ada beberapa penelitian yang mengembangkan PLTGL ini. Pada penelitian I Made Susanto, 2015[1] dijelaskan tentang pemanfaatan prinsip GGL induksi yang dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan metode pelampung. Besar GGL induksi dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu jumlah lilitan, kuat medan magnet, dan kecepatan gerak magnet. Sedangkan untuk sistem pembangkit listrik, yang mempengaruhi besar GGL induksi diantaranya terletak pada bentuk pelampung, panjang lengan, massa pelampung dan cepatnya putaran pada transmisi. Fungsi gaya inputan adalah dengan memanfaatkan gaya angkat dari gelombang dan gaya apung dari pelampung. Sedangkan pada kasus pembangkit listrik tenaga gelombang laut, gaya apung dan gaya angkat dari gelombang laut sangat dipengaruhi oleh massa pelampung dan massa dari batang penggerakannya. Pada saat pergerakan turun secara riilnya dapat dimanfaatkan sebagai penggerak generator dengan memanfaatkan gaya berat batang dan gaya berat pelampung.

Dimana pada penelitian yang sudah dilakukan I Made voltase yang dihasilkan berasal dari putaran generator, pada penelitian ini digunakan *cantilever piezoelectric* sebagai pengganti generator. *Cantilever piezoelectric* material merupakan material yang memiliki kemampuan untuk membangkitkan potensial listrik sebagai respon dari tegangan mekanik yang diberikan pada material tersebut. Blade dipasang seporos dengan poros keluaran pada gearbox hingga memukul *cantilever piezoelectric* hingga menyebabkan *cantilever piezoelectric* terdefleksi. Defleksi dari *cantilever piezoelectric* inilah yang menimbulkan energi listrik.

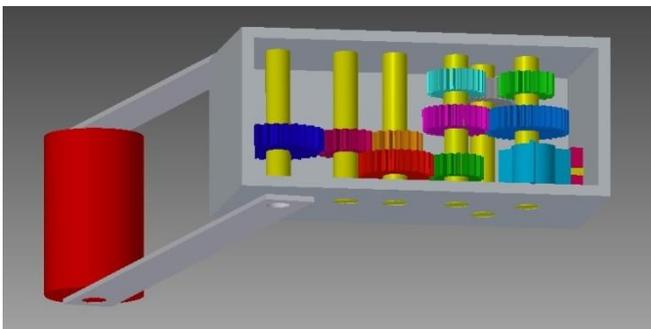
II. URAIAN PENELITIAN

Dalam mekanisme PLTG-Air terdapat komponen penting yaitu lengan pengungkit dan pelampung yang dapat menghasilkan kecepatan sudut dan torsi ketika diberikan input berupa energi gelombang air. Desain untuk peletakan mekanisme PLTG-Air dapat dilihat pada gambar 1(a), dimana *housing* dibuat diam sehingga saat pelampung silinder dikenai gaya gelombang maka pelampung akan bergerak naik turun. Besar kecilnya gaya gelombang dipengaruhi oleh amplitudo dan frekuensi gelombang sehingga jarak peletakan mekanisme dari permukaan gelombang tidak mempengaruhi gaya gelombang.

Kecepatan sudut dan torsi yang dihasilkan lengan pengungkit diteruskan ke mekanisme gearbox. Rasio putaran gearbox adalah 1:5 [1]. Torsi yang dihasilkan gearbox digunakan untuk memukul *cantilever piezoelectric* dan menghasilkan energi listrik dalam bentuk voltase. Untuk lebih jelasnya detail mekanisme dapat dilihat pada gambar 1(b)

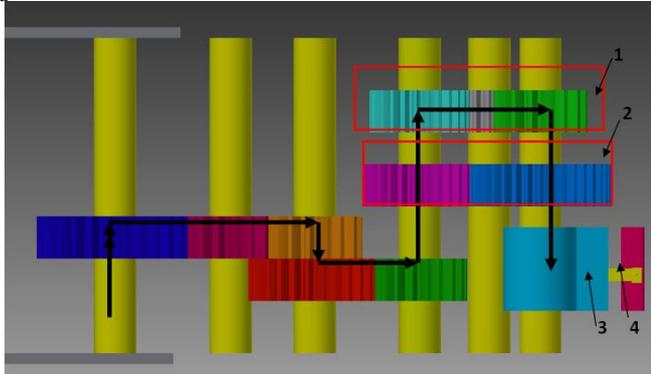


(a)

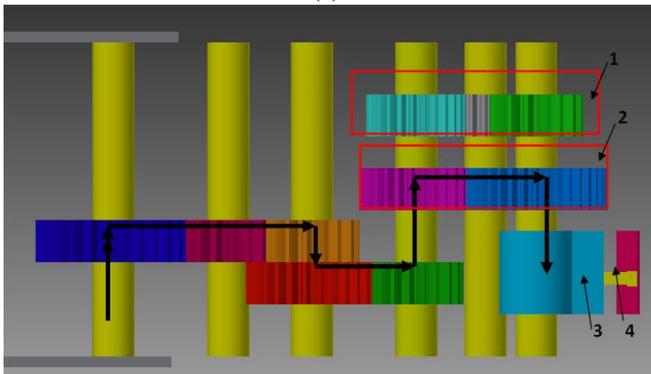


(b)

Gambar 1. Pemodelan (a) peletakan mekanisme PLTG-AIR (b) susunan gearbox mekanisme PLTG-Air.



(a)



(b)

Gambar.2. Pemodelan (A) mekanisme gearbox saat pelampung bergerak ke bawah (B) mekanisme gearbox saat pelampung bergerak ke atas

Keterangan:

- 1 = Gearbox pada saat pelampung bergerak turun
- 2 = Gearbox pada saat pelampung bergerak naik

- 3 = Blade
- 4 = Piezoelectric

Prinsip kerja alat pada gambar 2(a) yaitu pada saat lengan bergerak ke bawah akibat berat lengan dan pelampung, gaya diteruskan ke gearbox dan dilanjutkan ke gearbox 1. Torsi hanya bisa lewat pada sistem gearbox 1 sedangkan pada sistem gearbox 2 roda gigi terlepas karena terdapat *one way bearing*. Putaran sistem gearbox 1 diteruskan ke *cantilever piezoelectric* melalui blade. Penggunaan mekanisme *one way bearing* bertujuan mengontrol putaran gearbox pada saat lengan bergerak ke atas maupun ke bawah, sehingga blade tetap berputar pada satu arah dan kontinyu.

Sedangkan untuk mekanisme pada gambar 2(b) adalah saat lengan bergerak ke atas karena pengaruh gelombang air maka gaya yang dihasilkan oleh lengan dilanjutkan ke gearbox dan diteruskan ke gearbox 2. Torsi hanya bisa lewat ke sistem gearbox 2, sedangkan pada sistem gearbox 1 netral karena dipasang sebuah *one way bearing*. Dari sistem gearbox 2 diteruskan ke *cantilever piezoelectric* melalui blade. Blade berputar dengan kecepatan sudut lima kali lebih besar dari kecepatan sudut putaran roda gigi input.

- Persamaan Matematis Kesetimbangan Dinamis Pada Lengan Dan Pelampung

$$J_0 \ddot{\theta}_0 + \left(Wp \cdot l + Wb \cdot \frac{l}{2} \right) \theta + k_0 (\theta_0 - \theta_1) - F_w \cdot l = 0 \dots \dots \dots (1)$$

- Persamaan Matematis Jeq Saat Pelampung Turun

$$J_{eq} \ddot{\theta}_{B1} - k_0 (\theta_0 - \theta_{B1}) + F_{CBP1} r_B = 0 \dots \dots \dots (2)$$

- Persamaan Matematis Jeq Saat Pelampung Naik

$$J_{eq} \ddot{\theta}_{B2} - k_0 (\theta_0 - \theta_{B2}) + F_{CBP2} r_B = 0 \dots \dots \dots (3)$$

- Persamaan Matematis Untuk Massa Piezoelectric

$$M_p \cdot \ddot{x}_p + K_p \cdot x_p + Fe = F_{impact} \dots \dots \dots (4)$$

- Persamaan Electric Cantilever Piezoelectric

$$V_{mc} = L_{mc} \cdot \frac{dI_{mc}}{dt} + R_{mc} \cdot I_{mc} + \frac{1}{C_{mc}} \int I_{mc} dt + V_p \dots \dots \dots (5)$$

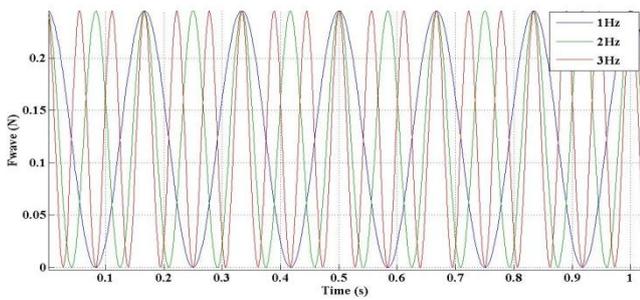
III. HASIL DAN ANALISA

Persamaan gerak yang didapatkan dari pemodelan matematis diterjemahkan pada block simulink, dengan inputan yang digunakan berupa gaya gelombang air yang divariasikan pada frekuensi. Pemodelan ini ditujukan untuk mengetahui besarnya energi yang dihasilkan mekanisme.

3.1 Pemodelan Pada Simulink Matlab

3.1.1 Pemodelan Gaya Gelombang Air

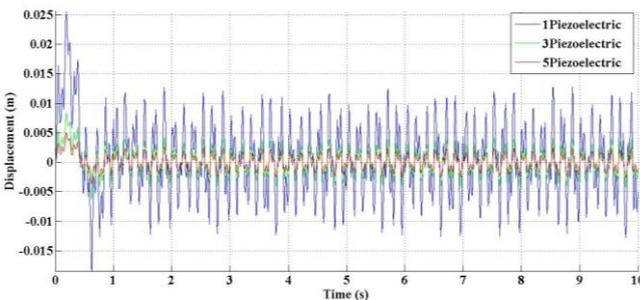
Pada gambar 3 menunjukkan grafik pergerakan gelombang air yang digunakan sebagai gaya inputan dari mekanisme. Variasi yang digunakan adalah variasi frekuensi, yaitu 1Hz, 2Hz dan 3Hz. Tinggi gelombang yang digunakan adalah 0.04m.



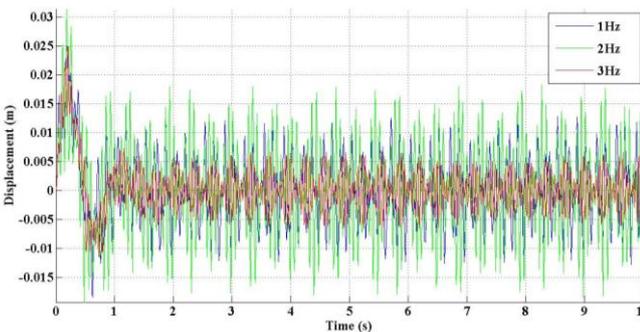
Gambar 3. Grafik pergerakan gelombang air menggunakan satu buah *cantilever piezoelectric* dengan variasi frekuensi

3.1.2 Displacement Cantilever Piezoelectric Dengan Variasi Frekuensi Dan Jumlah Cantilever Piezoelectric

Pada gambar 4 dapat dilihat grafik *displacement* pada saat frekuensi 1Hz dengan variasi jumlah *cantilever piezoelectric* sebanyak 1, 3, dan 5 buah. Pada saat dipasang 1, 3 dan 5 *cantilever piezoelectric* didapatkan nilai *displacement* terbesar secara berurutan sebesar 0.0126m, 0.004033m, dan 0.002632m. Sistem mencapai titik stabil pada waktu 1.655s. Diantara ketiga variasi tersebut diketahui bahwa *displacement* terbesar terjadi saat menggunakan 1 *cantilever piezoelectric*. Untuk grafik *displacement* dengan input frekuensi sebesar 2 Hz dan 3 Hz memiliki grafik seperti pada gambar 4.



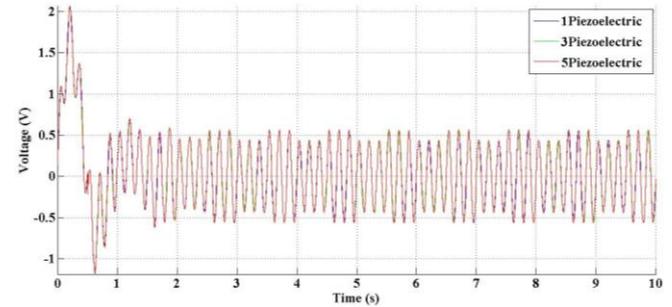
Gambar 4. Grafik *Displacement Cantilever Piezoelectric* Frekuensi 1Hz Terhadap Waktu Dengan Variasi Jumlah *Cantilever Piezoelectric*



Gambar 5. Grafik *Displacement Satu Buah Cantilever Piezoelectric* Terhadap Waktu Dengan Variasi Frekuensi

Pada gambar 5 dapat dilihat grafik *displacement* satu buah *cantilever piezoelectric* terhadap waktu dengan variasi frekuensi sebesar 1Hz, 2Hz dan 3Hz. Nilai *displacement* tertinggi saat frekuensi 1Hz, 2Hz dan 3Hz adalah 0.01286m, 0.01866m dan 0.006599m. Sistem mencapai titik stabil pada waktu 0.8348s. Pada grafik dapat diketahui *displacement* tertinggi terjadi saat input frekuensi sebesar 2Hz. Untuk variasi jumlah *cantilever piezoelectric* sebanyak 3 dan 5 buah, hasil grafik yang didapatkan serupa dengan grafik pada gambar 5.

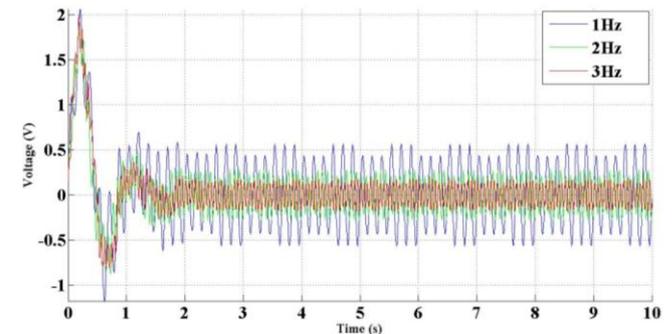
3.1.3 Voltase Bangkitan *Cantilever Piezoelectric* Dengan Variasi Frekuensi Dan Jumlah *Cantilever Piezoelectric*



Gambar 6. Grafik Voltase *Cantilever Piezoelectric* Frekuensi 1Hz Terhadap Waktu Dengan Variasi Jumlah *Cantilever Piezoelectric*

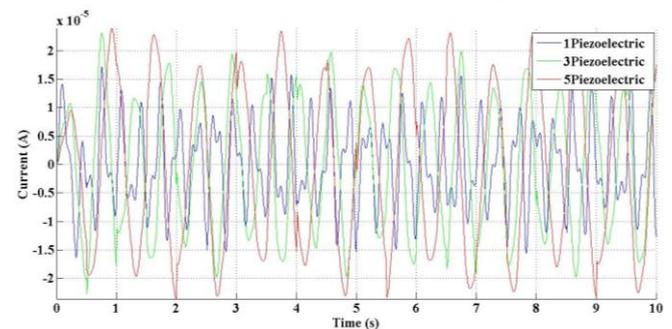
Gambar 6 menunjukkan grafik voltase saat input frekuensi sebesar 1 Hz. Grafik yang dihasilkan saat menggunakan 1, 3 dan 5 buah *cantilever piezoelectric* memiliki garis yang hampir sama. Nilai tertinggi dari grafik yang dihasilkan saat dipasang *cantilever piezoelectric* sebanyak 1, 3 dan 5 adalah 0.5649V, 0.5682 dan 0.5658V. Sistem stabil pada waktu 1.499s. Untuk grafik arus dengan input frekuensi sebesar 2 Hz dan 3 Hz memiliki grafik seperti pada gambar 6.

Pada gambar 7 menunjukkan grafik voltase yang dihasilkan dari satu buah *cantilever piezoelectric* dengan variasi frekuensi. Pada saat frekuensi 1Hz, 2Hz dan 3Hz nilai voltase terbesar 0.5682V, 0.2792V dan 0.1842V. Sistem stabil pada waktu 1.5s. Dari ketiga variasi frekuensi tersebut nilai voltase terbesar terjadi saat frekuensi 1Hz. Grafik voltase bangkitan yang dihasilkan dari 3 dan 5 buah *cantilever piezoelectric* memiliki bentuk yang serupa dengan grafik pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Voltase Satu Buah *Cantilever Piezoelectric* Dengan Variasi Frekuensi

3.1.4 Arus Bangkitan *Cantilever Piezoelectric* Dengan Variasi Frekuensi Dan Jumlah *Cantilever Piezoelectric*

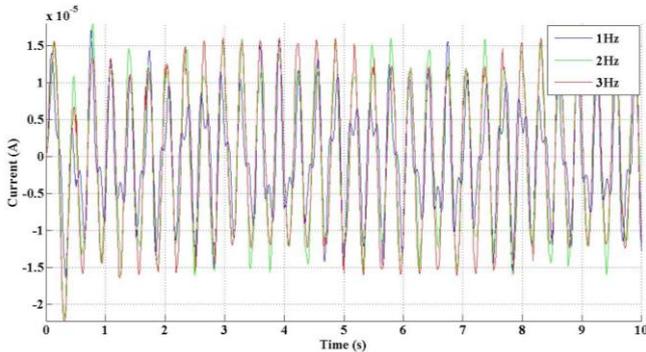


Gambar 8. Grafik Arus *Cantilever Piezoelectric* Frekuensi 1Hz Terhadap Waktu Dengan Variasi Jumlah *Cantilever Piezoelectric*

Pada gambar 8 dapat dilihat grafik arus yang dihasilkan pada saat diberikan input frekuensi sebesar 1Hz.

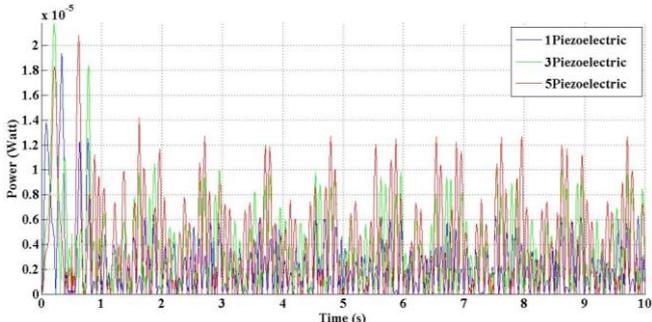
Pada saat menggunakan 1, 3 dan 5 buah *cantilever piezoelectric* didapatkan nilai arus terbesar adalah 1.719E-05A, 2.309E-05A dan 2.388E-05A. Sehingga nilai arus terbesar terjadi saat menggunakan 5 *cantilever piezoelectric* dan sistem stabil setelah mencapai waktu 0.5954s. Untuk grafik arus dengan input frekuensi sebesar 2 Hz dan 3 Hz memiliki grafik seperti pada gambar 8.

Gambar 9 menunjukkan grafik arus yang dihasilkan satu buah *cantilever piezoelectric*. Arus yang dihasilkan dipengaruhi oleh adanya variasi frekuensi yang digunakan. Dimana secara berturut-turut didapatkan nilai arus terbesar pada frekuensi 1Hz, 2Hz dan 3Hz adalah 1.719E-05A, 1.803E-05A dan 1.612E-05A. Pada waktu 0.3892s sistem mulai stabil. Dari data tersebut nilai arus terbesar terjadi pada frekuensi 2Hz. Untuk grafik arus dengan 3 dan 5 *cantilever piezoelectric* memiliki bentuk grafik seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Arus Satu Buah Cantilever Piezoelectric Dengan Variasi Frekuensi

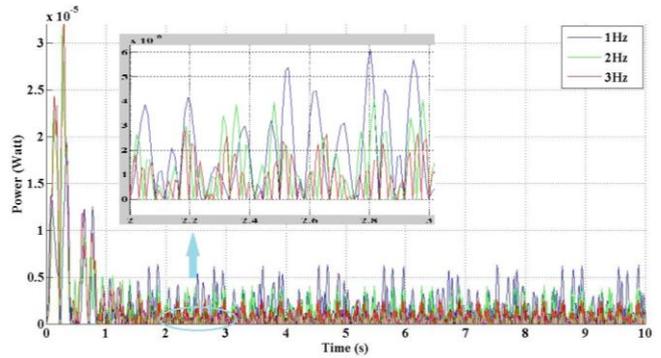
3.1.5 Daya Bangkitan *Cantilever Piezoelectric* Dengan Variasi Frekuensi Dan Jumlah *Cantilever Piezoelectric*



Gambar 10. Grafik Daya *Cantilever Piezoelectric* Frekuensi 1Hz Terhadap Waktu Dengan Variasi Jumlah *Cantilever Piezoelectric*

Gambar 10 menunjukkan grafik daya dengan input frekuensi sebesar 1Hz. Pada saat menggunakan 1, 3 dan 5 buah *cantilever piezoelectric*, nilai daya terbesar adalah 6.301E-06Watt, 1.047E-05Watt dan 1.417E-05Watt. Pada waktu 0.8371s sistem mulai stabil. Dari grafik tersebut diketahui daya terbesar dihasilkan saat menggunakan 5 *cantilever piezoelectric*. Untuk grafik daya dengan input frekuensi sebesar 2 Hz dan 3 Hz memiliki grafik seperti pada gambar 10.

Pada gambar 11 menunjukkan grafik daya yang dihasilkan oleh satu buah *cantilever piezoelectric* dengan variasi frekuensi. Didapatkan nilai daya terbesar saat diberikan input frekuensi 1Hz, 2Hz dan 3Hz adalah 6.372E-06Watt, 4.13E-06Watt dan 2.757E-06Watt. Sehingga daya terbesar saat input 1Hz. Sistem stabil pada saat 1.675s. Grafik arus dengan jumlah *cantilever piezoelectric* 3 dan 5 buah memiliki bentuk grafik seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik Daya Satu Buah *Cantilever Piezoelectric* Dengan Variasi Frekuensi

Pada gambar 10 dan 11, grafik mencapai stabil dan membentuk grafik sinusoidal setelah detik ke 0.8371s dan 1.675s. Bentuk grafik pada 0s sampai ke kedua detik tersebut terjadi akibat nilai inputan yang diberikan gaya gelombang (*Fwave*) bernilai positif sehingga untuk mencapai stabil atau kondisi sinusoidal dibutuhkan waktu.

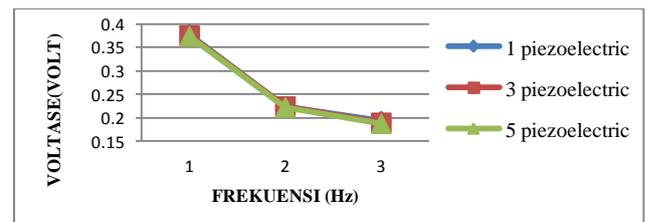
Dari hasil analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 1 data mengenai energi bangkitan dengan variasi frekuensi dan jumlah *cantilever piezoelectric*.

Tabel 1. Data Energi Bangkitan Dengan Variasi Frekuensi Dan Jumlah *Cantilever Piezoelectric*

| FREKUENSI | JUMLAH PIEZOELECTRIC | VOLTASE (V) | ARUS (A) | DAYA (Watt) |
|-----------|----------------------|-------------|----------|-------------|
| 1 | 1 | 0.3774 | 7.18E-06 | 2.61E-06 |
| | 3 | 0.3752 | 1.13E-05 | 4.06E-06 |
| | 5 | 0.3731 | 1.39E-05 | 4.92E-06 |
| 2 | 1 | 0.2246 | 9.25E-06 | 2.42E-06 |
| | 3 | 0.2238 | 1.22E-05 | 2.43E-06 |
| | 5 | 0.2220 | 1.47E-05 | 2.69E-06 |
| 3 | 1 | 0.1929 | 9.77E-06 | 2.24E-06 |
| | 3 | 0.1891 | 1.25E-05 | 2.34E-06 |
| | 5 | 0.1871 | 1.48E-05 | 2.45E-06 |

3.2 Pembahasan

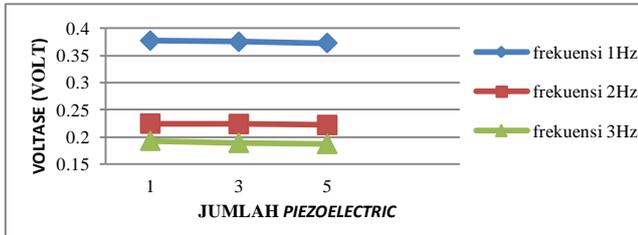
3.2.1 Pengaruh Frekuensi Dan Jumlah *Piezoelectric* Terhadap Voltase Bangkitan *Piezoelectric*



Gambar 12. Grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap voltase bangkitan dari masing – masing jumlah cantilever piezoelectric.

Pada gambar 12 menunjukkan grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap voltase bangkitan yang dihasilkan dengan variasi jumlah *cantilever piezoelectric*. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi jumlah *cantilever piezoelectric* yaitu 1, 3, dan 5 buah *cantilever piezoelectric*. Nilai RMS voltase untuk 1 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 0.3774V, 0.2246V, dan 0.1929V, nilai RMS voltase untuk 3 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 0.3752V, 0.2238V, dan 0.1891V, serta nilai RMS voltase untuk 5 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 0.3731V, 0.2220V, dan 0.1871V. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat *trendine* setiap grafik menurun seiring bertambahnya frekuensi gelombang air karena dengan bertambahnya

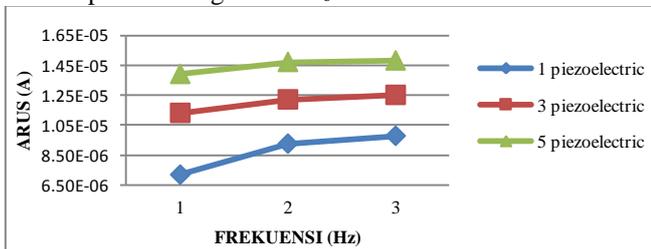
frekuensi gelombang air maka gaya gelombang air juga semakin kecil. Sesuai rumusan dimana frekuensi berbanding terbalik dengan F_{wave} (gaya gelombang air). Gaya gelombang air berfungsi sebagai inputan, sehingga jika gaya gelombang air semakin kecil maka semakin kecil gaya $impact$ (F_{impact}) dari blade yang mengenai *cantilever piezoelectric*. Sehingga, semakin kecil gaya $impact$ maka $displacement$ pada *cantilever piezoelectric* semakin kecil pula. $Displacement$ inilah yang mempengaruhi besarnya voltase yang dihasilkan.



Gambar 13. Grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap voltase bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air.

Pada gambar 13 menunjukkan grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap voltase bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air yang dihasilkan dari mekanisme PLTG-Air. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi frekuensi gelombang air yaitu 1Hz, 2Hz, dan 3Hz. *Trendine* setiap grafik cenderung tetap meskipun ada sedikit penurunan seiring bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* karena semakin bertambah jumlah *cantilever piezoelectric* maka gaya $impact$ yang digunakan untuk menggerakkan *cantilever piezoelectric* semakin kecil. Semakin kecil gaya $impact$ semakin kecil pula voltase yang dihasilkan. Untuk sistem rangkaian listrik, *cantilever piezoelectric* disusun secara paralel. Penyusunan secara paralel ini membuat nilai voltase bangkitan *cantilever piezoelectric* tetap pada masing – masing *cantilever piezoelectric*. *Cantilever piezoelectric* dianggap seperti sumber energi (baterai) yang dilalui arus listrik sehingga ketika rangkaian disusun secara paralel maka besarnya voltase akan tetap meskipun dengan penambahan jumlah *cantilever piezoelectric*.

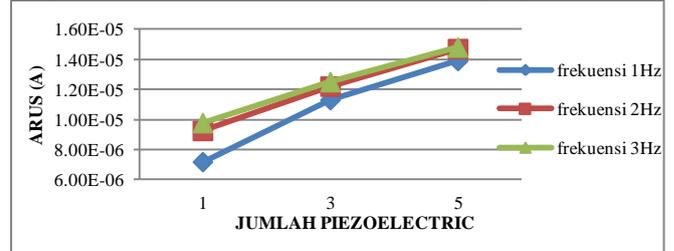
3.2.2 Pengaruh Frekuensi Dan Jumlah Piezoelectric Terhadap Arus Bangkitan Piezoelectric



Gambar 14. Grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap arus listrik bangkitan dari masing – masing jumlah *cantilever piezoelectric*.

Pada gambar 14 menunjukkan grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap arus listrik bangkitan yang dihasilkan dari mekanisme PLTG-Air dengan variasi jumlah *cantilever piezoelectric*. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi jumlah *cantilever piezoelectric* yaitu 1, 3, dan 5 buah. Dapat dilihat nilai RMS arus untuk 1 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 7.18E-06A, 9.25E-06A dan 9.77E-06A, nilai RMS arus untuk 3 buah *cantilever piezoelectric* pada saat

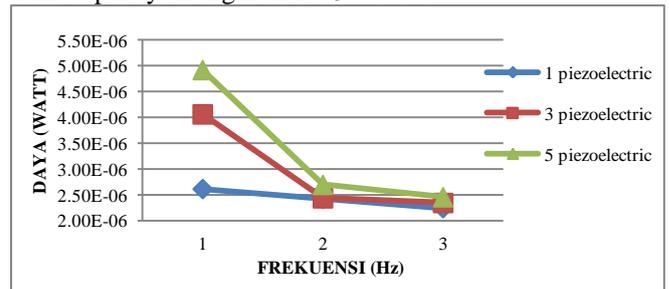
frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 1.13E-05A, 1.22E-05A, dan 1.25E-05A, serta nilai RMS arus untuk 5 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 1.39E-05A, 1.47E-05A, dan 1.48E-05A. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat *trendine* setiap grafik meningkat seiring bertambahnya frekuensi gelombang air karena semakin besar frekuensi gelombang air, maka semakin mendekati frekuensi natural dari *cantilever piezoelectric*. Sehingga semakin besar frekuensi gelombang air, semakin besar pula kecepatan pergerakan *cantilever piezoelectric* dan semakin besar pula arus bangkitan yang dihasilkan. Berdasarkan uraian tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar frekuensi gelombang air yang diberikan maka semakin besar arus yang dihasilkan.



Gambar 15. Grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap arus listrik bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air

Pada 15 menunjukkan grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap arus listrik bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi frekuensi gelombang air yaitu 1Hz, 2Hz, dan 3Hz. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat *trendine* setiap grafik naik seiring bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* karena pada rangkaian listrik ini *cantilever piezoelectric* disusun secara paralel. Penyusunan *cantilever piezoelectric* secara paralel menyebabkan semakin banyak jumlah *cantilever piezoelectric* maka semakin banyak pula faktor pengkali pada nilai arus bangkitan per satu *cantilever piezoelectric*.

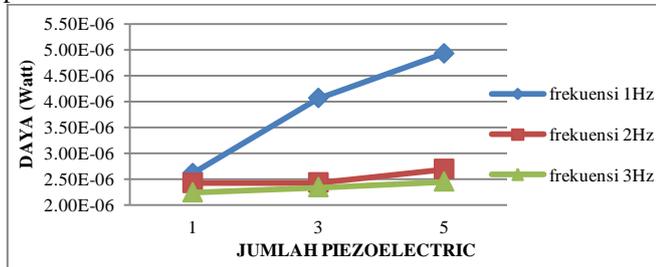
3.2.3 Pengaruh Frekuensi Dan Jumlah Piezoelectric Terhadap Daya Bangkitan Piezoelectric



Gambar 16. Grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap daya listrik bangkitan dari masing – masing jumlah *cantilever piezoelectric*.

Pada gambar 16 menunjukkan grafik pengaruh frekuensi gelombang air terhadap daya listrik bangkitan yang dihasilkan dari mekanisme PLTG-Air dengan variasi jumlah *cantilever piezoelectric*. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi jumlah *cantilever piezoelectric* yaitu 1, 3, dan 5 buah. Dapat dilihat nilai RMS daya untuk 1 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 2.61E-06Watt, 2.42E-06Watt dan 2.24E-06Watt, nilai RMS daya untuk 3 buah *cantilever piezoelectric* pada saat frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 4.06E-06Watt, 2.43E-06Watt, dan 2.34E-06Watt, serta nilai RMS daya untuk 5 buah *cantilever piezoelectric* pada saat

frekuensi 1Hz, 2 Hz, dan 3Hz adalah 4.92E-06Watt, 2.69E-06Watt, dan 2.45E-06Watt. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat *trendine* setiap grafik menurun dengan bertambahnya frekuensi dikarenakan dipengaruhi oleh nilai arus dan voltase yang dihasilkan dari mekanisme PLTG-Air. Sesuai rumusan, dimana daya merupakan hasil kali voltase dengan arus. Dimana voltase menurun dengan bertambahnya frekuensi. Inilah yang menjadikan *trendline* daya mengalami penurunan.



Gambar 17. Grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap daya listrik bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air.

Pada gambar 17 menunjukkan grafik pengaruh jumlah *cantilever piezoelectric* terhadap daya listrik bangkitan dari masing – masing frekuensi gelombang air. Terdapat tiga buah grafik yang mewakili tiga variasi frekuensi gelombang air yaitu 1Hz, 2Hz, dan 3Hz. Dari ketiga grafik tersebut dapat dilihat *trendine* setiap grafik naik seiring bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* dikarenakan seiring bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* yang dipasang secara paralel maka bertambah pula nilai arus setiap bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric* dengan nilai voltase yang cenderung tetap. Sesuai dengan rumusan bahwa daya merupakan hasil kali arus dengan voltase, sehingga nilai daya berbanding lurus dengan nilai arus. Jika nilai daya semakin besar maka nilai arus juga akan semakin besar, dan sebaliknya. Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai daya meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah *cantilever piezoelectric*.

IV. KESIMPULAN

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

1. Jumlah *cantilever piezoelectric* berpengaruh terhadap energi bangkitan yang dihasilkan. Semakin banyak *cantilever piezoelectric* yang digunakan, semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Dengan jumlah *cantilever piezoelectric* sebanyak 5 buah didapatkan nilai daya bangkitan terbesar saat frekuensi 1Hz adalah 4.92E-06Watt, saat frekuensi 2Hz adalah 2.69E-06 Watt, dan saat frekuensi 3Hz adalah 2.45E-06Watt dengan jumlah *cantilever piezoelectric* sebanyak 5 buah.
2. Frekuensi berpengaruh terhadap energi bangkitan yang dihasilkan. Semakin besar frekuensi yang diberikan pada mekanisme PLTG-Air, semakin kecil energi bangkitan yang dihasilkan. Sehingga nilai daya terbesar terjadi saat frekuensi 1Hz dengan jumlah *cantilever piezoelectric* 1 buah adalah 2.61E-06 Watt, jumlah *cantilever piezoelectric* 3 buah adalah 4.06E-06 Watt dan saat jumlah *cantilever piezoelectric* 5 buah adalah 4.92E-06 Watt.
3. Daya listrik bangkitan terbesar yang dapat dihasilkan oleh pemodelan mekanisme PLTG-Air tipe pelampung

silinder dengan 3 variasi frekuensi gelombang laut (1 Hz, 2 Hz, 3 Hz) dan 3 variasi jumlah *cantilever piezoelectric* (1, 3, 5) terjadi ketika pemodelan mekanisme dikenakan frekuensi gelombang 1 Hz dengan menggunakan 5 buah *cantilever piezoelectric*, yaitu dengan nilai daya 4.92E-06 Watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Wiwiek Hendrowati ST, MT yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susanto, I Made, 2015. “Studi Karakteristik Energi Listrik Yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Metode Pelampung Dengan Variasi Dimensi Pelampung Dan Panjang Lengan”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.
- [2] Akvianto, Jemy, 2015. “Studi Eksperimen Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Prototipe Mekanisme PLTGL Metode Pelampung Silinder Dengan Variasi Pembebanan Dan Panjang Lengan”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.
- [3] Losong, Yabes David, 2015. “Pemodelan Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Tipe Pelampung Piezoelectric”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.
- [4] A. Wijaya dan I. Wayan, “Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali,” *J. Teknol. Elektro*, vol 9, no. 2, 2012.
- [5] M. A. Djabbar, dkk, “Ombak Sebagai Sumber Energi Listrik,” *Pros. Has. Penelit. Fak. Tek.*, vol. 5, no. 1, 2011.
- [6] A. Muetze dan J. Vining, “Ocean Wave Energy Conversion,” *Univ. Wis. Madison*, 2005.
- [7] D. Magagna, “Oscillating water column wave pump: a wave energy converter for water delivery,” *University of Southampton*, 2011.
- [8] Deutschman, A. D., Michels, W. J., dan Wilson, C. E. 1975. “Machine Design”. Macmillan Publishing Co. Inc., New York
- [9] Indraswara, Joenta, 2015. “Studi Karakteristik Voltase Bangkitan yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Menggunakan metode Cantilever Piezoelectric-Pengungkit Dengan Variasi Jumlah Blade Pemukul dan Frekuensi Sumber Getar”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press
- [10] Yusuf, Muh. Irvan, 2015. “Pemodelan Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pembangkit Listrik Gelombang Laut Tipe Kayuh Dayung Piezoelectric”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.
- [11] S. S. Rao, “Mechanical Vibrations Fifth Edition,” Prentice Hall, 2011.
- [12] Krisdianto, Andy Noven, 2011. “Studi Karakteristik Energi Yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Dengan Metode Piezoelectric Untuk Pembebanan Frontal Dan Lateral”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.
- [13] M. E. McCormick, “Ocean Engineering Mechanics,” Cambridge University Press, 2010.
- [14] Romano, Gusti Fajar, 2015. “Studi Karakteristik Voltase Bangkitan Yang dihasilkan Oleh Mekanisme Vibration Energy Harvesting Menggunakan Metode Cantilever Piezoelectric Dengan Variasi Jumlah Blade dan Frekuensi Sumber Getar”. Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin: ITS Press.