

Pengaruh Jumlah Piezoelektrik pada Rancang Bangun Sistem Penghasil Listrik Berbasis Piezoelektrik dengan Memanfaatkan Gelombang Laut

Zulkarnain A. Hasan , Asri Arbie , Abdul Haris Odja , dan Abdul Wahidin Nuayi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Jl.

Prof. Dr. Ing B.J Habibie, Kab. Bone Bolango, 96858, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: wahidin.awn2023@ung.ac.id

Paper received: xx-xx-xxxx; revised: xx-xx-xxxx; accepted: xx-xx-xxxx

Abstract

Currently there is a smart material being developed to harvest energy by utilizing vibration or deflection, namely piezoelectric. In this study, researchers used piezoelectric as a source of electrical energy by converting ocean wave energy into electrical energy. The purpose of this research is to design a piezoelectric-based electricity generator by utilizing ocean wave power, and to determine the effect of piezoelectric number, period, and wave height on the power and electrical energy produced. The method used in this study is an experimental method carried out in Lopo Village, Batuaa Pantai District, Gorontalo Regency at a sea depth of 3 meters. 5 designs were made with variations of 28, 56, 70, 84, and 98 piezoelectric. From this research, the average design power is 0.013 Watt with an average wave power of 289.58 Watt and the largest electrical energy reaches 2,198 Joules. The greater the piezoelectric number, wave height, and frequency, the greater the power and electrical energy produced.

Keywords: Piezoelectric; ocean waves; harvest energy

Abstrak

Saat ini terdapat sebuah material pintar yang dikembangkan untuk memanen energi yaitu dengan memanfaatkan getaran atau defleksi, yaitu piezoelektrik. Pada penelitian ini peneliti menggunakan piezoelektrik sebagai sumber energi listrik dengan mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat rancang bangun penghasil listrik berbasis piezoelektrik dengan memanfaatkan tenaga gelombang laut, serta mengetahui pengaruh jumlah piezoelektrik, periode, dan tinggi gelombang terhadap daya dan energi listrik yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen yang dilakukan di Desa Lopo, Kecamatan Batuaa Pantai, Kabupaten Gorontalo pada kedalaman laut 3 meter. Rancangan dibuat sebanyak 5 buah dengan variasi 28, 56, 70, 84, dan 98 piezoelektrik. Dari penelitian ini diperoleh daya rancangan rata-rata sebesar 0,013 Watt dengan daya gelombang rata-rata sebesar 289,58 Watt serta energi listrik paling besar mencapai 2,198 Joule. Semakin besar jumlah piezoelektrik, tinggi gelombang, dan frekuensi, semakin besar pula daya dan energi listrik yang dihasilkan.

Kata kunci: Piezoelektrik; gelombang laut memanen energy

1. Pendahuluan

Bahan piezoelektrik adalah bahan yang menghasilkan medan listrik ketika mengalami regangan atau tekanan mekanis. Di sisi lain, jika medan listrik diterapkan, material akan mengalami regangan atau tekanan mekanis. Bahan piezoelektrik alami meliputi: kuarsa (Quartz, SiO₂), Berlinite, turmalin, Salt Rossel Berlinite (AlPO₄), sukrosa dan enamel. Bahan

piezoelektrik buatan antara lain: barium titanat (BaTiO_3), timbal zirkonat titanat (PZT), timbal titanat (PbTiO_3), polivinilidena fluorida (PVDF), galium ortofosfat (GaPO_4) dan lantanida ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) dll (Almanda et al., 2015). Keramik feroelektrik polikristalin seperti barium titanat (BaTiO_3) dan timbal zirkonat titanat (PZT) menunjukkan perpindahan yang lebih besar saat berubah bentuknya atau menyebabkan tegangan listrik yang lebih besar saat dikompresi. Bahan keramik piezo PZT tersedia dalam banyak variasi dan paling banyak digun

akan untuk aplikasi aktuator atau sensor. Doping khusus PZT keramik dengan ion Ni, Bi, La, Nd, atau Nb memungkinkan untuk mengoptimalkan parameter piezoelektrik dan dielektrik. PZT atau lead zirconium titanates merupakan jenis bahan piezoelektrik. Keramik piezoelektrik ini mengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik dan memiliki keuntungan lain sebagai sistem pemanen energi yang mengkonversi energi kinetik ke energi listrik seperti turbin (Najini & Muthukumaraswamy, 2016).

Kisaran kemampuan chip piezoelektrik adalah $5\mu\text{A}$ untuk arus listrik, dan tegangan keluaran adalah 5 Vac. Namun, jika fragmen ini dikumpulkan dan dikelola dalam jumlah besar, energi yang dihasilkan dapat diakumulasikan dalam sistem pemanenan energi (Hidayatullah et al., 2016). Piezoelektrik dapat dihubungkan secara seri maupun paralel. Piezoelektrik yang dirangkai secara seri dapat menghasilkan tegangan yang besar, sedangkan piezoelektrik yang dihubungkan secara paralel dapat menghasilkan arus listrik yang besar (Sun et al., 2013).

Pemanfaatan gelombang laut untuk menghasilkan energi listrik telah banyak dilakukan, diantaranya *heaving and pitching bodies* yaitu dengan memanfaatkan gerak vertikal naik turunnya gelombang laut (heaving) dan goyangan (pitching) gelombang laut. Kemudian ada teknologi yang namanya *oscillating water column* (OWC), teknologi ini memanfaatkan osilasi gelombang laut untuk menghasilkan tekanan udara yang akan menggerakkan turbin kemudian menghasilkan listrik [9]. Selanjutnya ada teknologi yang namanya wave focusing techniques/tapered channel (tapchan), teknologi ini merupakan teknologi konversi energi gelombang laut dengan cara memfokuskan gelombang laut pada satu titik tempat yang relatif kecil (HARYADI, 2019).

Pemanfaatan gelombang laut sebagai pembangkit listrik berbasis piezoelektrik sendiri sudah pernah dilakukan, misalnya oleh Sherly Octavia Saraswati dan Wiwiek Hendrowati (2016). Akan tetapi yang membedakan dengan penelitian ini yaitu metode eksperimen yang digunakan yaitu pada kondisi laut yang sebenarnya. Selain itu, desain rancangan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sistem seperti pompa piston, dengan memanfaatkan gerak naik turun gelombang untuk memberikan tekanan pada piezoelektrik. Kemudian parameter yang diukur yaitu periode dan tinggi gelombang laut.

2. Metode

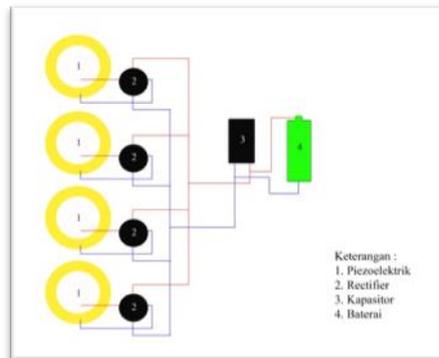
Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 3 bulan dimulai dari preparasi alat dan bahan, pembuatan rancangan sistem penghasil listrik piezoelektrik, hingga tahap uji coba rancangan penghasil listrik berbasis piezoelektrik yang telah dibuat. Pengambilan data dilakukan di Desa Lopo, Kec. Batudaa Pantai, Kabupaten Gorontalo dengan titik koordinat $00^{\circ}29'41.1''\text{N}$ $123^{\circ}01'21.4''\text{E}$, dengan kedalaman laut 3 meter dan waktu selama 2 hari.

Penelitian ini diawali dengan studi literatur, yaitu mengumpulkan data dan referensi melalui jurnal, buku, karya ilmiah serta artikel sebagai acuan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan preparasi alat dan bahan untuk membuat rancangan sistem penghasil listrik

berbasis piezoelektrik. Setelah persiapan alat dan bahan, langkah pertama yaitu membuat rangkaian piezoelektrik. Rangkaian ini yang nantinya akan diletakkan dalam rancangan sebagai generator untuk mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik.

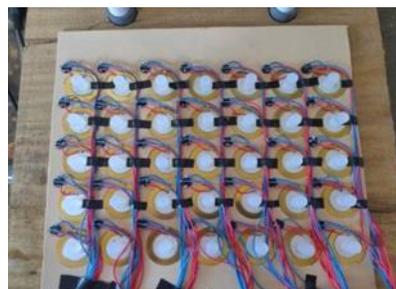
2.1. Pembuatan Rangkaian Piezoelektrik

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan rangkaian piezoelektrik yang akan digunakan pada rancangan. Rangkaian piezoelektrik ini terdiri dari piezoelektrik, rectifier, kapasitor, dan baterai. Rectifier digunakan sebagai penyearah gelombang, karena arus keluaran dari piezoelektrik adalah AC, sehingga diperlukan rectifier untuk mengubah arus AC ke DC. Sedangkan kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan agar output yang dihasilkan adalah tegangan DC murni. Terakhir baterai yang tentunya digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan..



Gambar 1. Skema Rangkaian Piezoelektrik

Pembuatan rangkaian dimulai dengan memilih kepingan piezoelektrik yang digunakan, hal ini dilakukan agar piezoelektrik yang digunakan dalam keadaan baik atau tidak rusak. Selanjutnya piezoelektrik disusun dan ditempelkan pada karpet spon, karpet spon digunakan agar piezoelektrik tidak mudah rusak saat mendapatkan tekanan. Kemudian piezoelektrik dirangkai secara paralel lalu dihubungkan dengan dioda menggunakan solder. Terakhir rangkaian piezoelektrik ditempelkan karet untuk melindungi rangkaian agar tidak mudah rusak akibat tekanan secara langsung dari pemukul.

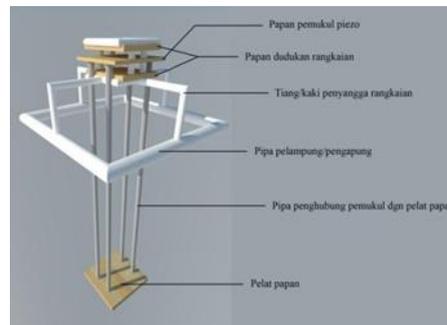


Gambar 2. Rangkaian Piezoelektrik

2.2. Pembuatan Rancangan Penghasil Listrik Piezoelektrik

Langkah selanjutnya yaitu membuat rancangan piezoelektrik. Rancangan ini dibuat dengan pipa sebagai bahan utama, hal ini bertujuan agar rancangan tahan terhadap air laut dan bobot pipa yang cukup ringan serta mudah dibentuk. Selain itu diperlukan papan untuk membuat pemukul serta rumah rangkaian piezoelektrik. Rancangan dibuat sebanyak 5 buah

dengan masing-masing rancangan terdapat rangkaian piezoelektrik dengan piezoelektrik yang bervariasi, yaitu 28, 56, 70, 84, dan 98 keping piezoelektrik.



Gambar 3. Skema Rancangan Penghasil Listrik Berbasis Piezoelektrik

Pembuatan rancangan dimulai dengan membuat pelampung pipa kemudian rumah rangkaian piezoelektrik, kaki penyangga rumah rangkaian piezo, dan terakhir adalah merakit semuanya menjadi satu kesatuan.



Gambar 4. Proses Perakitan Rancangan

2.3. Tahap Uji Coba Rancangan

Pada tahap ini dilakukan uji coba rancangan pada kondisi yang sebenarnya. Uji coba rancangan dilakukan pada kedalaman laut 3 meter, dengan waktu selama 2 hari.



Gambar 5. Tahap Uji Coba Rancangan

Pada tahap uji coba rancangan dilakukan pengambilan data penelitian. Data yang diukur yaitu periode, tinggi gelombang, serta arus dan tegangan output rancangan. Arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh rancangan ini yaitu dengan mengkonversi gerak naik turun

gelombang laut menjadi gerak tarik-dorong pada pemukul rancangan (seperti gerak piston). Gerak tarik-dorong inilah yang membuat pemukul menekan rangkaian piezoelektrik di dalam rancangan, sehingga piezoelektrik mengalami defleksi kemudian menghasilkan arus listrik.

2.4. Analisis Data Penelitian

Data arus dan tegangan listrik yang diperoleh nantinya akan digunakan untuk menghitung berapa besar daya serta energi listrik yang dihasilkan oleh rancangan. Daya rancangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{sistem} = V \times I \quad (1)$$

Sedangkan untuk menghitung energi listrik dengan persamaan:

$$E_{sistem} = V \times I \times t \quad (2)$$

Dimana P_{sistem} adalah daya rancangan (watt), V adalah tegangan listrik (V), I adalah arus listrik (A), dan t adalah waktu (s).

2.4.1. Pengukuran Periode dan Tinggi Gelombang Laut

Pengukuran periode gelombang laut dilakukan dengan cara menghitung berapa banyak gelombang laut yang melewati satu titik tertentu dalam waktu 5 menit. Setelah itu dapat dihitung periode gelombang laut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{t}{N} \quad (3)$$

Dimana T adalah periode gelombang laut (s), t adalah waktu (s), dan N adalah jumlah gelombang laut. Sedangkan untuk pengukuran tinggi gelombang laut dilakukan dengan menggunakan sebuah tiang berukuran sekitar 4 meter yang telah diberikan skala (meteran), selanjutnya diamati berapa skala yang ditunjukkan pada puncak dan lembah gelombang, kemudian dihitung selisih keduanya maka akan diperoleh tinggi gelombang laut. Data periode dan tinggi gelombang laut ini nantinya akan digunakan untuk menghitung energi, daya, dan gaya gelombang laut. Untuk menghitung energi gelombang laut dapat menggunakan persamaan:

$$E_w = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (4)$$

Dimana E_w adalah energi gelombang laut (J), g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m / s}^2$), ρ adalah massa jenis air (1000 kg / m^3), dan A adalah amplitudo gelombang (m). Untuk menghitung daya dengan persamaan [5]:

$$P_w = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi} \quad (5)$$

Dimana T adalah periode gelombang (s), dan H adalah tinggi gelombang (m). Sedangkan untuk menghitung gaya menggunakan persamaan [6]:

$$F_w = \frac{P_w}{c} \quad (6)$$

Dimana c adalah setengah kecepatan rambat gelombang dengan persamaan [4]:

$$C = L/T = \sqrt{gd} \tag{7}$$

Dimana L adalah panjang gelombang, T adalah periode, dan d adalah kedalaman laut.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan uji coba rancangan yang telah dilakukan, diperoleh data penelitian sebagai berikut:

Tabel 1. Data hasil Pengamatan

| Hari | N_p | T | H | V | I | P_{sistem} |
|------|-------|------|-------|-------|---------|--------------|
| 1 | 28 | 3,33 | 0,294 | 8,47 | 0,00046 | 0,004 |
| | 56 | 2,54 | 0,288 | 9,67 | 0,00064 | 0,006 |
| | 70 | 3,94 | 0,294 | 14,98 | 0,00088 | 0,013 |
| | 84 | 4,91 | 0,292 | 19,33 | 0,00104 | 0,02 |
| | 98 | 4,34 | 0,284 | 20,72 | 0,00133 | 0,027 |
| 2 | 28 | 5,35 | 0,252 | 7,79 | 0,00038 | 0,003 |
| | 56 | 4,34 | 0,254 | 8,93 | 0,00068 | 0,006 |
| | 70 | 5,88 | 0,266 | 14,05 | 0,00083 | 0,011 |
| | 84 | 3,89 | 0,224 | 17,69 | 0,00089 | 0,016 |
| | 98 | 3,26 | 0,242 | 19,27 | 0,00114 | 0,021 |

Dimana N_p adalah jumlah piezo, T adalah periode (s), H adalah tinggi gelombang (m), V adalah tegangan output rancangan (V), I adalah arus output rancangan (A), dan P_{sistem} adalah daya rancangan (Watt).

Selain data penelitian Tabel 1, diperoleh juga data pengujian energi listrik tersimpan. Pada pengujian energi listrik yang tersimpan diukur besar tegangan dan arus listrik yang tersimpan pada baterai dengan selang waktu 5-25 menit pengisian. Setelah memperoleh data tegangan dan arus listrik tersimpan kemudian dihitung berapa total tegangan dan arus listrik yang tersimpan selama 25 menit. Kemudian diperoleh berapa energi listrik yang tersimpan.

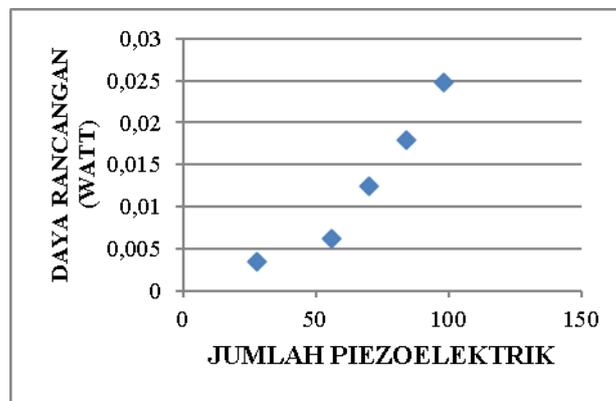
Tabel 2. Data hasil energi listrik tersimpan

| Hari | N_{piezo} | t | V_t | I_t | E |
|------|-------------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 28 | 1500 | 97,4 | 0,37 | 0,054 |
| | 56 | | 193,3 | 1,15 | 0,334 |
| | 70 | | 232,6 | 1,67 | 0,582 |
| | 84 | | 328,3 | 2,2 | 1,083 |
| | 98 | | 568,8 | 2,85 | 2,431 |
| 2 | 28 | 1500 | 93,3 | 0,36 | 0,05 |
| | 56 | | 179,3 | 1,01 | 0,271 |
| | 70 | | 194 | 1,47 | 0,427 |
| | 84 | | 271,7 | 1,84 | 0,75 |
| | 98 | | 506 | 2,59 | 1,965 |

Dimana t adalah waktu pengisian (s), V_t adalah tegangan tersimpan (mV), A_t adalah arus listrik tersimpan (mA), dan E adalah energi listrik (Joule).

3.1 Pengaruh Jumlah Piezoelektrik terhadap Daya Rancangan

Tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya gelombang laut akan dikonversi menjadi energi listrik oleh rangkaian piezoelektrik yang terdapat dalam rancangan. Pada saat rancangan mulai berisolasi, rangkaian piezoelektrik akan memperoleh tekanan dan kemudian menghasilkan tegangan dan arus listrik. Pada penelitian ini peneliti membuat variasi jumlah piezoelektrik tiap rancangan dengan jumlah yang berbeda-beda, yakni 28, 35, 70, 84, dan 98 maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga berbeda-beda. Daya rata-rata yang diperoleh selama 2 hari untuk tiap variasi jumlah piezo yaitu 0,003 watt, 0,006 watt, 0,012 watt, 0,018 watt, dan 0,024 watt.



Gambar 6. Hubungan antara jumlah piezoelektrik dengan daya rancangan

Daya yang dihasilkan oleh rancangan ini cukup besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saraswati, S. O. & Hendrowati W., (2016) dimana daya yang diperoleh berkisar $2,24E-06$ watt sampai $4,92E-06$ watt [8]. Hal ini disebabkan oleh jumlah piezoelektrik yang digunakan, dimana pada penelitian Saraswati, S. O. & Hendrowati W., (2016) variasi jumlah piezoelektrik yang digunakan yaitu 1, 3, dan 5, sedangkan pada penelitian ini variasi jumlah piezoelektrik yang digunakan adalah 28, 35, 70, 84, dan 98. Berdasarkan kedua hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jumlah piezoelektrik yang digunakan dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan, karena bertambahnya jumlah piezoelektrik yang dipasang secara paralel maka bertambah nilai arus yang dihasilkan seiring dengan nilai voltase yang cenderung tetap.

3.2 Pengaruh Periode, Tinggi Gelombang dan Jumlah Piezoelektrik terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan

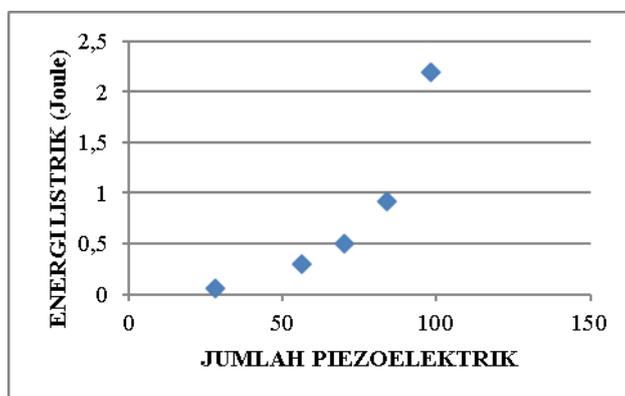
Pada pengambilan data yang telah dilakukan diperoleh data periode, tinggi gelombang serta energi listrik. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel I dan II, pada hari ke-1 diperoleh periode rata-rata gelombang adalah 3,182 s dan tinggi gelombang rata-rata adalah 0,290 m, dengan energi listrik rata-rata tersimpan 0,896 Joule. Sedangkan pada hari ke-2 diperoleh periode rata-rata gelombang adalah 4,544 s dan tinggi gelombang rata-rata adalah 0,247 m, dengan energi listrik rata-rata tersimpan 0,692 Joule.

Tabel 3. Periode rata-rata, tinggi gelombang rata-rata dan energi listrik rata-rata yang dihasilkan

| Hari | Periode Rata-rata | Tinggi Gelombang Rata-rata | Energi Listrik |
|------|-------------------|----------------------------|----------------|
| 1 | 3,182 sekon | 0,290 meter | 0,896 Joule |
| 2 | 4,544 sekon | 0,247 meter | 0,692 Joule |

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin kecil periode gelombang atau semakin besar frekuensinya maka energi listrik yang tersimpan juga semakin besar. Pada penelitian sebelumnya (Losong, 2016), diperoleh hasil yang sama dimana semakin tinggi gelombang dan semakin besar frekuensi atau semakin kecil periode, semakin besar juga energi listrik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin besar frekuensi atau semakin kecil periode gelombang, semakin besar pula kecepatan pergerakan elemen piezo, sehingga semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Sedangkan untuk tinggi gelombang, semakin tinggi gelombang laut semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena ketika tinggi gelombang semakin besar, maka defleksi yang terjadi semakin besar pula, dan jika elemen piezo kembali ke titik semula maka kecepatannya akan semakin besar untuk kembali ke titik semula (Losong, 2016).

Selain periode dan tinggi gelombang laut, jumlah piezoelektrik juga mempengaruhi energi listrik yang tersimpan, dimana setiap kenaikan jumlah piezoelektrik energi listrik yang tersimpan juga semakin besar.



Gambar 7. Hubungan antara jumlah piezoelektrik terhadap energi listrik yang dihasilkan

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat seiring bertambahnya jumlah piezoelektrik energi listrik yang tersimpan semakin besar. Dimana energi yang tersimpan paling sedikit yaitu 0,052 joule dengan jumlah 28 keping piezoelektrik, sedangkan energi tersimpan paling besar yaitu 2,198 Joule dengan jumlah 98 keping piezoelektrik. Pada penelitian sebelumnya oleh Losong, Y. D. & Hendrowati W., (2016), diperoleh hasil yang sama dimana semakin banyak jumlah elemen piezoelektrik semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah piezoelektrik semakin banyak faktor pengkali pada nilai arus bangkitan per satu elemen piezoelektrik (Losong, 2016).

3.3 Pengaruh Tinggi Gelombang dan Jumlah Piezoelektrik terhadap Daya Rancangan terhadap Daya Rancangan

Tinggi gelombang dan jumlah piezoelektrik keduanya memiliki hubungan dengan daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, dimana setiap kenaikan tinggi gelombang dengan jumlah piezoelektrik yang sama daya yang dihasilkan juga semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah piezoelektrik. Seperti contoh pada hari ke-1 pada rancangan dengan jumlah 28 keping piezoelektrik dengan tinggi gelombang 0,294 meter diperoleh daya 0,004, sedangkan pada hari ke-2 dengan jumlah piezoelektrik yang sama yaitu 28 dan tinggi gelombang 0,252 meter diperoleh daya sebesar 0,003 watt. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi gelombang berpengaruh terhadap daya output rancangan meskipun jumlah piezoelektrik yang digunakan sama banyaknya. Akan tetapi daya rancangan juga semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah piezoelektrik, sehingga daya paling besar yang diperoleh yaitu 0,027 watt pada hari ke-1 dengan jumlah 98 keping piezoelektrik dan tinggi gelombang 0,284 meter, sedangkan daya paling kecil terdapat pada hari ke-2 yaitu 0,003 watt dengan jumlah 28 keping piezoelektrik dan tinggi gelombang 0,252 meter.

3.4 Efisiensi Rancangan

Efisiensi rancangan adalah daya rancangan yang dihasilkan dibagi dengan daya gelombang laut kemudian dikalikan 100% untuk memperoleh berapa % efisiensinya. Daya rancangan dapat dihitung dengan persamaan (1), sedangkan daya gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan (5). Data hasil perhitungan efisiensi rancangan ditunjukkan pada Tabel IV berikut.

Tabel 4. Efisiensi rancangan

| Hari | Jumlah Piezo | P_{wave} | P_{sistem} | η |
|------|--------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 28 | 275,113 | 0,00393 | 0,001 |
| | 56 | 201,368 | 0,0062 | 0,003 |
| | 70 | 325,509 | 0,01318 | 0,004 |
| | 84 | 400,147 | 0,0201 | 0,005 |
| | 98 | 334,579 | 0,02768 | 0,008 |
| 2 | 28 | 324,733 | 0,00297 | 0,0009 |
| | 56 | 267,626 | 0,00605 | 0,002 |
| | 70 | 397,661 | 0,01161 | 0,003 |
| | 84 | 186,559 | 0,01581 | 0,008 |
| | 98 | 182,482 | 0,02189 | 0,012 |

Dimana P_{wave} adalah daya gelombang laut (Watt), P_{sistem} adalah daya rancangan (Watt), dan η adalah efisiensi rancangan (%).

Efisiensi rancangan penghasil listrik berbasis piezoelektrik adalah daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan dibagi dengan daya gelombang laut kemudian dikali 100%.

Berdasarkan data perhitungan pada Tabel IV, diperoleh efisiensi rancangan paling besar yaitu 0,012% pada hari ke-2 dengan jumlah 98 keping piezoelektrik, sedangkan efisiensi terkecil terdapat pada hari yang sama (hari ke-2) yaitu 0,0009% dengan jumlah 28 keping piezoelektrik. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa jumlah piezoelektrik sangat berpengaruh terhadap efisiensi rancangan sehingga semakin banyak piezoelektrik yang digunakan semakin besar pula efisiensi rancangan. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah piezoelektrik semakin besar daya rancangan, sehingga efisiensinya juga semakin besar.

Untuk menghitung rata-rata efisiensi rancangan dengan menghitung rata-rata daya gelombang laut dan rata-rata daya rancangan. Berdasarkan Tabel IV, daya rata-rata gelombang laut adalah 289,577 watt. Sedangkan rata-rata daya rancangan berdasarkan Tabel I yaitu 0,013 watt. Sehingga dapat dihitung efisiensi rancangan rata-rata mencapai 0,004 %.

4. Simpulan

Rancangan yang telah dibuat pada penelitian ini dapat digunakan untuk menghasilkan tekanan pada rangkaian piezoelektrik yang berada pada rancangan dengan memanfaatkan gerak naik turunnya gelombang laut. Daya rancangan rata-rata yang dihasilkan oleh rancangan ini sebesar 0,013 Watt dengan daya gelombang rata-rata sebesar 289,58 Watt serta energi listrik paling besar mencapai 2,198 Joule. Jumlah kepingan piezoelektrik yang digunakan pada rancangan berpengaruh terhadap tegangan dan arus output yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah piezoelektrik yang digunakan pada rancangan penghasil listrik, semakin besar pula daya yang dihasilkan. Nilai daya bangkitan terbesar terdapat pada rancangan dengan jumlah piezoelektrik sebanyak 98 keping yaitu 0,0276 Watt, sedangkan nilai daya terkecil pada 28 keping piezoelektrik yaitu 0,003 Watt. Selain itu, periode dan tinggi gelombang laut juga berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh rancangan piezoelektrik. Semakin kecil periode gelombang atau semakin besar frekuensinya maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar. Begitu pula untuk tinggi gelombang, semakin tinggi gelombang laut semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

Daftar Rujukan

- Almanda, D., Dermawan, E., Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Fajar, A. N. (2015). Analisis desain optimum model piezoelektrik PVDF Untuk sumber pembangkit listrik air hujan berskala mini. *Prosiding Semnastek*.
- HARYADI, D. (2019). Studi Potensi Dan Teknologi Energi Laut Di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Hidayatullah, W., Syukri, M., & Syukriyadin, S. (2016). Perancangan prototype penghasil energi listrik berbahan dasar piezoelektrik. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 1(3).
- Losong, Y. D. (2016). *Pemodelan Dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Model Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Tipe Pelampung-Piezoelectric* [PhD Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Najini, H., & Muthukumaraswamy, S. A. (2016). Investigation on the selection of piezoelectric materials for the design of an energy harvester system to generate energy from traffic. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(2), 257722.

Sun, C., Shang, G., Zhu, X., Tao, Y., & Li, Z. (2013). Modeling for piezoelectric stacks in series and parallel. *2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications*, 954–957.