

## Generator Listrik Tenaga Gelombang Air Menggunakan Kristal Piezoelektrik

Muhammad Eko Saputro<sup>1</sup>, Mohd. Ilyas Hadikusuma<sup>2</sup>, Rianda<sup>3</sup>

Jurusan Elektro dan Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Politeknik Negeri Pontianak Jl.

Jend. Ahmad Yani, Bansir Laut, Pontianak, (0561)736180

Ekosaputro drackeko@gmail.com<sup>1</sup>, Ilyas.hadikusuma@gmail.com<sup>2</sup>, riandatarkan@gmail.com<sup>3</sup>

### ABSTRACT

This research aims to explore the utilization of water waves as a source of electrical energy using piezoelectric crystals. In this study, a device is designed to harness water waves to drive an iron marble that strikes piezoelectric crystals, generating electrical signals. The generated electrical signals are then directed to a peak detector circuit to convert the AC signal into DC, which is temporarily stored in a capacitor. This process ensures signal stability before further processing. Subsequently, the stored electrical signals in the capacitor are processed using a step-up boost converter to increase the voltage. The boosted voltage is then regulated by a charger module for efficient and safe battery charging. The generated electrical energy is stored in a battery for future use. This research aims to harness the kinetic energy from water waves and convert it into stable and well-managed electrical energy, thereby potentially supporting the development of wave-based renewable energy technology..

**Keywords :** *Electric Generators, Piezoelectric Crystals, Water Waves*

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi pemanfaatan gelombang air sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan kristal piezoelektrik. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah alat yang memanfaatkan gelombang air untuk menggerakkan kelereng besi yang kemudian menumbuk kristal piezoelektrik dan menghasilkan sinyal listrik. Sinyal listrik yang dihasilkan selanjutnya diarahkan ke rangkaian peak detector untuk mengubah sinyal AC menjadi DC, yang kemudian disimpan sementara dalam kapasitor. Proses ini memastikan stabilitas sinyal sebelum diproses lebih lanjut. Setelah itu, sinyal listrik yang telah disimpan dalam kapasitor diproses menggunakan step-up boost converter untuk meningkatkan tegangan. Tegangan yang telah ditingkatkan kemudian diatur oleh modul charger untuk pengisian baterai secara efisien dan aman. Energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai untuk penggunaan di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan energi kinetik dari gelombang air dan mengubahnya menjadi energi listrik yang stabil dan terkelola dengan baik, sehingga berpotensi mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis gelombang air.

**Kata kunci :** *Gelombang Air, Generator Listrik, Kristal Piezoelektrik*

## 1. PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan dikenal dengan julukan pulau seribu sungai, di mana masyarakat pesisir sungai sering memanfaatkan sampan atau perahu mesin berbahan bakar fosil sebagai moda transportasi utama. Penggunaan energi alternatif seperti tenaga surya telah mulai diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik, namun pemanfaatan energi dari gelombang air sungai masih kurang optimal. Fokus penelitian selama ini lebih banyak pada gelombang laut yang memiliki energi besar dan tak pernah

habis, sementara potensi gelombang air sungai belum dieksplorasi secara maksimal karena kondisinya yang relatif tenang dan kurang memiliki energi yang besar.

Teknologi konversi energi gelombang air yang umum digunakan adalah dengan memanfaatkan tuas yang dilengkapi dengan pelampung, magnet, dan kumparan, yang optimal pada gelombang besar. Namun, teknologi ini kurang efisien untuk mengonversi energi gelombang air sungai yang lebih tenang. Oleh karena itu, diperlukan metode konversi energi lain yang

lebih efektif, seperti penggunaan kristal piezoelektrik yang mampu menghasilkan sinyal listrik saat terjadi perubahan bentuk struktur material. Teknologi ini membuka peluang untuk pengembangan dan eksplorasi sumber energi dari gelombang air sungai [1], [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pemanfaatan gelombang air sungai sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan kristal piezoelektrik. Alat yang dirancang akan memanfaatkan gelombang air untuk menggerakkan kelereng besi yang kemudian menumbuk kristal piezoelektrik dan menghasilkan sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut kemudian diolah lebih lanjut untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan dapat disimpan dalam baterai. Dengan memanfaatkan energi kinetik dari gelombang air sungai, penelitian ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis gelombang air sungai [3], [4].

### 1.1 Tinjauan Pustaka

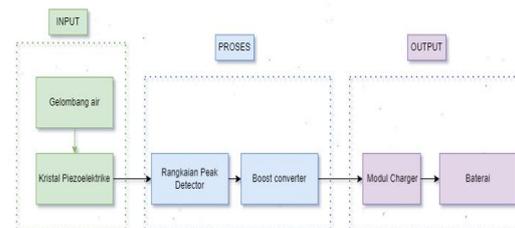
Penelitian oleh [5] menunjukkan bahwa kelereng yang dijatuhkan dari ketinggian lebih tinggi dan dengan massa yang lebih besar menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi pada piezoelektrik, dengan tegangan tertinggi mencapai 1.76 volt. Hal ini terjadi karena energi mekanik dari massa dan ketinggian meningkatkan momentum tumbukan, sehingga menghasilkan lendutan signifikan pada piezoelektrik dan meningkatkan tegangan listrik. Dalam konteks pemanfaatan energi limbah, penelitian oleh [6] menggambarkan penggunaan rantai piezoelektrik yang dirancang untuk memanfaatkan energi dari langkah kaki sebagai listrik. Dengan menghubungkan piezoelektrik secara paralel, daya keluaran dapat ditingkatkan, namun listrik yang dihasilkan perlu diperbaiki oleh sirkuit penyearah untuk dapat disimpan dalam baterai. Rantai ini ideal untuk dipasang di fasilitas umum seperti stasiun kereta api, memanfaatkan prinsip yang sama dari penyerapan energi mekanik yang ditunjukkan untuk efisiensi pengumpulan energi limbah.

## 2. METODE

### 2.1 Diagram Blok

Diagram blok adalah representasi grafis dari sistem elektronik yang menggunakan blok fungsi untuk mewakili komponen atau modul serta hubungan mereka, menunjukkan aliran

sinyal atau arus. Tujuan utama diagram blok adalah untuk menyederhanakan kompleksitas sistem, memudahkan pemahaman fungsi setiap komponen dalam sistem. Berikut adalah diagram blok generator listrik tenaga gelombang air menggunakan kristal piezoelektrik yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok

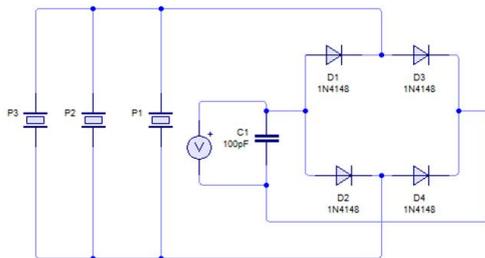
Sistem ini mengubah energi mekanis dari gelombang air dan tumbukan kelereng menjadi energi listrik melalui beberapa komponen utama. Gelombang air memanfaatkan energi kinetik melalui mekanisme pelampung, sedangkan kristal piezoelektrik mengubah energi mekanik dari tumbukan menjadi energi listrik. Proses pengolahan energi melibatkan dua tahap: rangkaian peak detector yang mengubah arus AC dari piezoelektrik menjadi DC, menyingkirkan fluktuasi, dan menyimpan energi dalam kapasitor, serta boost converter yang meningkatkan tegangan rendah kapasitor menjadi tegangan yang lebih tinggi. Bagian output mencakup modul charger yang mengatur pengisian baterai secara aman dan efisien, dan baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik akhir. Dengan demikian, sistem ini secara keseluruhan memanfaatkan sumber energi mekanis dan mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai melalui rangkaian pengolahan yang kompleks.

### 2.2 Perancangan Elektrik

Rancangan elektrik sistem generator tenaga gelombang air meliputi beberapa komponen kunci: pertama, sistem transduser yang memerlukan tegangan keluaran stabil minimal 2V DC agar dapat ditingkatkan oleh modul *boost converter*. Pengujian karakteristik kristal piezoelektrik melibatkan penggunaan osiloskop dan variasi sudut kemiringan (30 derajat) dengan input mekanis berupa tumbukan kelereng. Kedua, perancangan boost converter menggunakan modul yang tersedia secara komersial, dengan kalibrasi dilakukan melalui penyesuaian potensiometer untuk mencapai tegangan dan arus keluaran yang diperlukan. Ketiga,

perancangan rangkaian peak detector melibatkan empat dioda penyearah 1N4148 untuk menyearahkan keluaran positif dari piezoelektrik dan kapasitor 100 pF untuk menyimpan sinyal listrik sementara yang telah disearahkan. Kombinasi dari desain ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat menghasilkan dan mengelola energi secara efektif.

### 2.3 Skema Rangkaian



Gambar 6. Skema Rangkaian

Skema rangkaian diatas merupakan rangkaian generator listrik yang menggunakan kristal piezoelektrik (P1, P2, P3) yang disusun paralel. Ketika kristal piezoelektrik ini mengalami mekanis dari tumbukan kelereng, mereka menghasilkan tegangan listrik. Tegangan ini disimpan sementara dalam kapasitor (C1) dengan nilai 100 pF, yang membantu menjaga kestabilan tegangan yang masuk ke dioda *bridge*. Dioda *bridge*, yang terdiri dari empat dioda (D1, D2, D3, D4) 1N4148, mengubah tegangan AC yang dihasilkan oleh kristal piezoelektrik menjadi tegangan DC. Tegangan AC diubah menjadi DC dengan membalik tegangan negatif dari AC menjadi tegangan positif, sehingga menghasilkan output DC yang stabil. Dengan demikian, energi mekanis yang dihasilkan dari getaran atau tekanan pada kristal piezoelektrik dikonversi menjadi energi listrik yang disimpan dan diubah menjadi tegangan DC yang dapat digunakan.

### 2.4 Mekanisme Sistem Kerja

Ketika pelampung terkena gaya kinetik dari gelombang air, pelampung akan tergoncang dan menyebabkan sudut miring. Ketika sudut miring terjadi, kelereng yang berada di jalur lintasan akan menggelinding dan menumbuk transduser piezoelektrik. Tumbukan inilah yang menjadi input mekanik bagi piezoelektrik. Dari tumbukan ini, akan menghasilkan sinyal listrik yang kemudian diteruskan oleh sistem elektrik. Arus bolak-balik dari listrik disearahkan oleh

rangkaian *peak detector* dan kemudian disimpan sementara oleh kapasitor, selanjutnya *boost* oleh rangkaian *step-up*. Pada akhirnya, sinyal listrik akan disimpan oleh baterai. Sebelum disimpan, keluaran dari *boost* akan diatur oleh modul charger agar baterai tidak mengalami *overcharge*, yang dapat menyebabkan umur baterai menjadi lebih singkat

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Coba Piezoelektrik

Dalam uji coba generator listrik tenaga gelombang air yang menggunakan kristal piezoelektrik, diperoleh hasil pengukuran dengan multimeter menunjukkan tegangan tanpa beban sebesar 3,112 Vdc dan dengan beban resistor sebesar 2,18 Vdc. Perhitungan arus melalui resistor 4,7 ohm menghasilkan 198 mA. Dengan tegangan input 3,112 V dan arus 198 mA, daya yang dihasilkan oleh generator ini adalah 0,616 W atau 616 mW. Ini menunjukkan bahwa generator piezoelektrik ini mampu menghasilkan daya yang cukup untuk aplikasi tertentu, meskipun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensinya.

### 3.2 Percobaan Diatas Air

Pengujian dengan gelombang air menunjukkan bahwa konfigurasi piezoelektrik mempengaruhi output tegangan, dengan hasil tertinggi mencapai 2,20 Vdc untuk tiga piezoelektrik, tetapi hasilnya tidak konsisten dengan metode sudut kemiringan, yang menghasilkan daya output sebesar 615 mW. Sistem ini kurang efisien karena ketidakmampuan gelombang air untuk mengangkat pelampung sesuai sudut kemiringan yang diperlukan dan beban berat pelampung. Penggunaan kelereng besi sebagai objek tumbukan juga tidak optimal, mengurangi daya keluaran. Evaluasi efisiensi menunjukkan bahwa daya output masih kecil dan sistem tidak memenuhi standar efisiensi untuk aplikasi besar, menunjukkan perlunya optimasi desain mekanik dan material untuk meningkatkan konversi energi dan hasil sistem.

### 3.3 Hasil Pengukuran Respon Generator

Pengujian menggunakan osiloskop menunjukkan bahwa jumlah kristal piezoelektrik secara signifikan mempengaruhi respons sinyal listrik yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi tiga piezoelektrik menghasilkan sinyal listrik yang paling kontinu dan konsisten, sementara dua

piezoelektrik menghasilkan sinyal yang lebih rendah, dan satu piezoelektrik memberikan respons yang paling sedikit. Ini mengindikasikan bahwa lebih banyak piezoelektrik berkontribusi pada output sinyal listrik yang lebih besar dan lebih stabil.

Namun, hasil juga menunjukkan bahwa intensitas tumbukan kelereng dan jumlah piezoelektrik yang terbatas dapat mengurangi efisiensi konversi energi. Kekuatan tumbukan yang lebih tinggi berisiko merusak kristal piezoelektrik, sehingga perlu ada keseimbangan antara kekuatan tumbukan dan ketahanan mekanis kristal untuk menghindari kerusakan. Optimasi sistem memerlukan penyesuaian desain mekanik, pemilihan material yang lebih baik, dan teknik tumbukan yang lebih tepat untuk memaksimalkan konversi energi secara efisien tanpa merusak komponen.

## 4 KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, ditemukan mekanisme untuk menghasilkan sinyal listrik menggunakan generator tenaga gelombang air dengan menggunakan kristal piezoelektrik. Namun, daya yang dihasilkan masih tergolong rendah, yakni hanya sebesar 616mW. Hal ini dikarenakan kurangnya tumbukan kelereng besi kepada Kristal piezoelektrik. Akan tetapi jika Kristal piezoelektrik dibreikan tumbukan semakin banyak dan kuat membuat daya tahan Kristal piezoelektrik semakin berkurang bahkan hancur.
- Dikarenakan daya terlalu rendah maka tidak mempunyai untuk *boost converter* untuk menaikkan daya, Karena *boost converter* memiliki input minimal 2v dan juga daya yang stabil. Untuk menaikkan tinggi diperlukan piezoelektrik yang banyak dan memerlukan tumbukan yang kuat dan itu belum bisa direalisasikan.

### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis menyarankan agar untuk meningkatkan efisiensi sistem generator tenaga gelombang air dengan kristal piezoelektrik, perlu dilakukan optimasi desain mekanik agar interaksi antara kelereng dan kristal piezoelektrik lebih efektif serta penggunaan kristal yang lebih tahan terhadap tekanan mekanis. Meskipun eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan kelereng

sebagai media tumbukan kurang efisien dan tidak memenuhi target daya yang diinginkan, penelitian ini juga menunjukkan bahwa intensitas tumbukan yang lebih tinggi harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan pada kristal. Mengacu pada penelitian yang berhasil, seperti sistem drum elektrik dan generator tenaga injak pada polisi tidur serta jalan trotoar, dapat memberikan wawasan untuk meningkatkan desain dan teknik konversi energi. Sebagai alternatif, penulis menyarankan untuk mempertimbangkan media tumbukan yang lebih baik daripada kelereng untuk meningkatkan efisiensi konversi energi pada kristal piezoelektrik. Eksperimen lebih lanjut dengan berbagai konfigurasi piezoelektrik dan metode tumbukan dapat membantu menemukan solusi yang lebih efisien, sehingga daya yang dihasilkan dapat meningkat secara signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Qi, N. T. Jafferis, K. Lyons, C. M. Lee, H. Ahmad, dan M. C. McAlpine, "Piezoelectric ribbons printed onto rubber for flexible energy conversion," *Nano Lett*, vol. 10, no. 2, 2010.
- [2] S. VN dan S. S, "Electricity Production using Smart Piezoelectric Crystals," *J Appl Mech Eng*, vol. 04, no. 04, 2015.
- [3] E. Renzi, "Hydroelectromechanical modelling of a piezoelectric wave energy converter," *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 472, no. 2195, 2016.
- [4] R. Song, X. Shan, F. Lv, J. Li, dan T. Xie, "A novel piezoelectric energy harvester using the macro fiber composite cantilever with a Bicylinder in water," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 5, no. 4, 2015.
- [5] A. Gamayel, H. Hariyanto, A. Supriadi, dan K. Komalasari, "Pemanfaatan Kelereng sebagai Media Tumbuk Pada Piezoelektrik Pemanen Energi," *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, vol. 4, 2020.
- [6] M. I. Mowaviq, A. Junaidi, dan S. Purwanto, "LANTAI PERMANEN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN PIEZOELEKTRIK," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, 2019.