



IMPLEMENTASI GENERATOR LANGKAH KAKI UNTUK MENGOPTIMALKAN POTENSI ENERGI TERBARUKAN DAN ENERGI KINETIK

Andrea Songklanaita^{1*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pertahanan
akuandreasongklanaita@gmail.com^{1*}

Rd. Apip Miptahudin²

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pertahanan
amiptahudin@gmail.com²

Agus Sunardi³

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pertahanan
asunardi20@gmail.com³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi generator langkah kaki berbasis piezoelektrik dalam mengonversi energi kinetik dari aktivitas berjalan menjadi energi listrik. Dengan latar belakang krisis energi yang semakin mendalam dan kebutuhan akan inovasi dalam sektor energi terbarukan, penelitian ini memfokuskan pada pemanfaatan energi kinetik yang dihasilkan dari langkah kaki manusia. Penelitian ini dilakukan di dua lokasi berbeda dengan tingkat lalu lintas pejalan kaki yang berbeda untuk menguji kinerja alat dalam kondisi penggunaan padat dan tidak padat. Selain itu, analisis dilakukan terhadap pengaruh berat badan pejalan kaki terhadap voltase yang dihasilkan. Metode penelitian melibatkan instalasi generator langkah kaki di Mess Srikandi dan Cut Nyak Dien, serta pengumpulan data voltase yang dihasilkan dari pijakan pada sensor piezoelektrik. Data dianalisis untuk menentukan hubungan antara berat badan pejalan kaki dan voltase yang dihasilkan, serta untuk mengevaluasi waktu pengisian baterai di kedua lokasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa voltase yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya berat badan pejalan kaki. Pada rentang berat badan 50-56 kg, voltase rata-rata yang dihasilkan adalah 2,1V. Untuk berat badan 57-64 kg, voltase rata-rata mencapai 2,7V. Pada rentang berat badan 65-69 kg, voltase rata-rata yang dihasilkan adalah 3,2V, sedangkan untuk berat badan 70-75 kg, voltase rata-rata mencapai 3,8V. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa kepadatan lalu lintas pejalan kaki mempengaruhi efektivitas generator. Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi teknologi piezoelektrik dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi krisis energi dan mendukung transisi ke energi terbarukan di Indonesia.

Kata-kunci: energi terbarukan, piezoelektrik, energi kinetik, generator langkah kaki, voltase

IMPLEMENTATION OF A FOOTSTEP GENERATOR TO OPTIMIZE RENEWABLE ENERGY AND KINETIC ENERGY POTENTIAL

ABSTRACT

This research aims to evaluate the effectiveness and efficiency of a piezoelectric-based step generator in converting kinetic energy from into electrical energy. With the background of energy crisis and the need for innovation in the renewable energy sector, this research focuses on utilizing the kinetic energy generated from human footsteps. This research was conducted in two different locations with different levels of pedestrian traffic to test the device's performance in dense and non-dense usage conditions. In addition, an analysis was conducted on the influence of body weight on

the voltage produced. The research method involved installing a step generator at Mess Srikandi and Cut Nyak Dien, and collecting voltage data generated from stepping on the piezoelectric sensor. The data was analyzed to determine the relationship between body weight and the voltage produced, as well as to evaluate the battery charging time at both locations. The results showed that the voltage produced increased with increasing body weight. In the weight range of 50-56 kg, the average voltage produced was 2.1V. For a weight of 57-64 kg, the average voltage reached 2.7V. In the weight range of 65-69 kg, the average voltage produced was 3.2V, while for a weight of 70-75 kg, the average voltage reached 3.8V. In addition, this study also showed that the density of traffic affects the effectiveness of the generator. This research concludes that the implementation of piezoelectric technology can make a significant contribution to addressing the energy crisis and supporting the transition to renewable energy in Indonesia.

Keywords: renewable energy, piezoelectric, kinetic energy, footstep generator, voltage

PENDAHULUAN

Krisis energi yang semakin mendalam menjadi perhatian utama di Indonesia, terutama dengan adanya peningkatan signifikan dalam harga batu bara, gas alam, dan minyak mentah sejak tahun 2019. Menurut laporan dari Institute for Essential Service Reform (IESR) pada tahun 2022, harga energi ini melambung 2-4 kali lipat pada pertengahan 2022. Krisis ini tidak hanya menekan ekonomi nasional tetapi juga memperburuk dampak lingkungan akibat ketergantungan yang tinggi pada energi fosil (IESR, 2022). Dalam rangka menghadapi tantangan ini, serta perubahan iklim global, inovasi dalam sektor energi terbarukan menjadi sangat penting.

Indonesia memiliki potensi besar dalam sumber daya energi terbarukan, termasuk energi matahari, angin, hidro, bioenergi, geotermal, dan energi samudra. Namun, pemanfaatan energi terbarukan ini masih sangat terbatas. Berdasarkan laporan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), pada tahun 2021, pemanfaatan energi terbarukan baru mencapai 11,5% dari total kapasitas energi yang tersedia di Indonesia (KESDM, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa masih ada banyak peluang untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan di Indonesia.

Salah satu sumber energi yang belum banyak digali potensinya adalah energi kinetik yang berasal dari aktivitas sehari-hari, terutama dari langkah kaki

manusia. Energi kinetik ini dapat diubah menjadi energi listrik yang ramah lingkungan, membuka jalan bagi pengembangan metode baru dalam produksi energi listrik yang lebih berkelanjutan. Penelitian oleh Logeshwaran, Sheela, dan Priya (2022) menunjukkan bahwa penggunaan material piezoelektrik dapat menghasilkan listrik ketika dikenai tekanan mekanis, seperti pijakan kaki. Menurut Helonde et al. (2021), penggunaan material piezoelektrik dalam generator energi langkah kaki telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam berbagai pengujian laboratorium. Material ini tidak hanya efektif dalam mengonversi energi mekanis menjadi listrik tetapi juga memiliki durabilitas yang tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi dalam kondisi lalu lintas pejalan kaki yang tinggi.

Implementasi generator langkah kaki berbasis piezoelektrik ini bertujuan untuk mengoptimalkan konversi energi kinetik dari aktivitas berjalan menjadi energi listrik. Penelitian ini akan mengevaluasi efektivitas dan efisiensi sistem dalam berbagai kondisi lalu lintas pejalan kaki serta menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi hasil konversi energi. Selain itu, penelitian ini juga akan mengkaji bagaimana variasi berat badan pejalan kaki mempengaruhi voltase yang dihasilkan, yang dapat memberikan wawasan lebih dalam tentang optimalisasi desain sistem piezoelektrik untuk aplikasi praktis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas generator langkah kaki berbasis piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik dari aktivitas berjalan. Proses penelitian mengikuti pendekatan waterfall yang terdiri dari tahap identifikasi masalah, perencanaan, desain, pengadaan material, implementasi, pengujian, penerapan, dan pemeliharaan. Tahap identifikasi dilakukan untuk memahami rendahnya pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia dan melihat potensi energi kinetik dari langkah kaki sebagai salah satu solusi alternatif.

Pada tahap desain, peneliti merancang generator langkah kaki menggunakan lempengan akrilik, sensor piezoelektrik, lapisan silikon, Arduino Nano, LCD I2C, baterai lithium, dan battery protection board. Setiap komponen dipilih berdasarkan kebutuhan efisiensi daya, ketahanan fisik, serta kemampuan menampilkan data secara real-time. Desain sistem dibuat melalui perangkat lunak Fusion 360 untuk memastikan struktur dan susunan komponen optimal sebelum dilakukan perakitan secara fisik. Setelah material dikumpulkan, perangkat dirakit dan dikalibrasi untuk memastikan sistem mampu mendeteksi tekanan dan menghasilkan tegangan secara stabil.

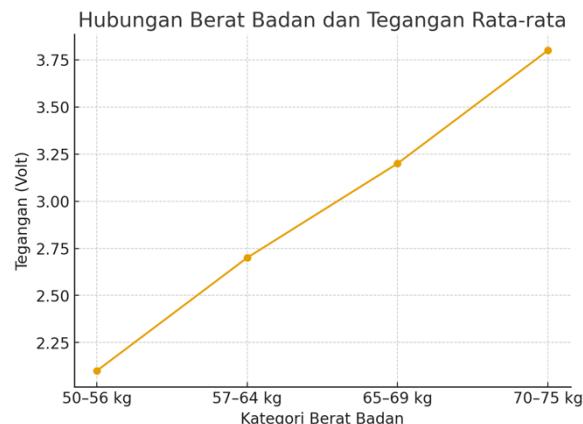
Tahap pengujian dilakukan dengan memasang generator di dua lokasi berbeda, yaitu Mess Srikandi dan Mess Cut Nyak Dien, yang memiliki tingkat kepadatan pejalan kaki yang berbeda. Data dikumpulkan berdasarkan berat badan pengguna serta frekuensi pijakan untuk mengukur voltase yang dihasilkan. Setelah pengujian selesai, data dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi konversi energi dan kinerja alat dalam kondisi nyata. Tahap akhir pemeliharaan melibatkan interpretasi hasil dan penyusunan laporan penelitian, serta pemberian rekomendasi untuk pengembangan sistem di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator langkah kaki berbasis piezoelektrik mampu mengonversi energi mekanik dari pijakan manusia menjadi energi listrik melalui deformasi material piezoelektrik. Tegangan yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya berat badan pengguna. Pada kelompok berat 50–56 kg tercatat voltase rata-rata sebesar 2,1 V, meningkat menjadi 2,7 V pada kelompok 57–64 kg, 3,2 V pada kelompok 65–69 kg, dan mencapai 3,8 V pada kelompok 70–75 kg.

Temuan ini konsisten dengan teori piezoelektrik yang menyatakan bahwa tekanan mekanis yang lebih besar akan menghasilkan pergeseran muatan internal yang lebih signifikan sehingga meningkatkan gaya gerak listrik (EMF). Dengan demikian, besarnya gaya tekan menjadi salah satu determinan utama dalam mengoptimalkan energi yang dapat diperoleh dari perangkat berbasis piezoelektrik.

Gambar 1. Grafik berat



badan dan tegangan rata-rata
Sumber: Data Penelitian

Namun demikian, variasi data memperlihatkan bahwa perbedaan voltase tidak hanya ditentukan oleh berat badan, tetapi juga oleh karakteristik langkah seperti kecepatan injakan, luas area yang tertekan, dan titik distribusi beban. Dalam beberapa kasus, pengguna dengan berat badan hampir sama menghasilkan tegangan

yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa input energi mekanis pada material piezoelektrik bersifat dinamis dan bergantung pada pola biomekanika berjalan masing-masing individu. Faktor ini perlu diperhatikan dalam merancang sistem energi berbasis piezoelektrik agar dapat bekerja secara optimal pada variasi gaya pijakan yang tidak terkontrol di ruang publik.

Pengaruh lingkungan juga menjadi aspek penting dalam menentukan kinerja generator. Perbedaan signifikan terlihat antara lokasi Mess Srikandi, yang memiliki intensitas pejalan kaki tinggi, dan Mess Cut Nyak Dien, yang relatif lebih sepi. Pada Mess Srikandi, baterai mampu terisi penuh dalam waktu sekitar tiga jam, sedangkan pada Mess Cut Nyak Dien proses pengisian berlangsung jauh lebih lama.

Hal ini memperkuat premis bahwa jumlah siklus tekanan berperan lebih dominan daripada besar tekanan dalam akumulasi energi total. Pada konteks energi terbarukan berbasis kinetik manusia, frekuensi langkah merupakan parameter yang tak kalah penting dibandingkan tekanan per langkah. Temuan ini sejalan dengan sejumlah penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa efektivitas harvesting energi piezoelektrik sangat ditentukan oleh repetisi gaya tekan, terutama pada aplikasi publik seperti stasiun, sekolah, mal, dan perkantoran.

Dari sisi desain mekanis, pemilihan material sangat berpengaruh terhadap efisiensi transfer tekanan. Lempengan akrilik 1 cm terbukti memberikan keseimbangan yang ideal antara rigiditas dan fleksibilitas sehingga tekanan dapat diteruskan secara merata ke sensor tanpa menyebabkan kerusakan struktural.

Sementara itu, penambahan lapisan silikon berfungsi sebagai peredam sekaligus pendistribusi gaya sehingga deformasi yang diterima sensor menjadi lebih konsisten dan tidak menimbulkan tegangan kejut berlebihan yang dapat merusak piezoelektrik. Kegagalan awal akibat penggunaan lem

tembak dalam perakitan membuktikan bahwa material dengan kekakuan tinggi dan ketahanan panas rendah tidak cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas mekanis. Hal ini menjadi bukti bahwa integrasi desain mekanik-elektronik adalah komponen krusial dalam penelitian dan pengembangan teknologi konversi energi piezoelektrik.

Dari sisi sistem elektronik, penggunaan Arduino Nano, LCD I2C, dan battery protection board 1S menunjukkan bahwa perangkat dapat memproses input sensor dengan stabil dan menampilkan output tegangan secara real-time. Adanya board proteksi baterai memastikan proses pengisian aman, mencegah overcharge, dan mempertahankan umur pakai baterai. Kombinasi sensor piezoelektrik dengan sistem monitoring real-time juga meningkatkan nilai fungsional alat dalam konteks implementasi praktis, terutama untuk aplikasi infrastruktur kota pintar (smart city) di mana transparansi data dan kemampuan integrasi menjadi sangat penting.

Analisis komparatif dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hasil penelitian ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa teknologi piezoelektrik paling efektif digunakan pada skala mikro untuk menghasilkan energi rendah hingga menengah. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan berupa data empiris mengenai korelasi berat badan dan voltase pada konteks penggunaan nyata (real-use condition), bukan hanya simulasi laboratorium. Selain itu, pengujian di dua lokasi berbeda memberikan pemahaman lebih komprehensif mengenai bagaimana variasi sosial dan lingkungan memengaruhi performa teknologi mikroenergi piezoelektrik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa generator langkah kaki berbasis piezoelektrik memiliki potensi besar untuk diimplementasikan sebagai sumber energi alternatif pada ruang

publik. Meskipun demikian, penelitian juga mengidentifikasi sejumlah keterbatasan seperti ketergantungan tinggi terhadap intensitas pejalan kaki, variasi langkah pengguna, dan masih relatif kecilnya kapasitas energi yang dapat dihasilkan untuk aplikasi berskala besar.

Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan, termasuk optimalisasi jumlah sensor, perbaikan struktur mekanik untuk meningkatkan sensitivitas, serta penerapan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien. Dengan pengembangan lanjutan, teknologi ini dapat menjadi salah satu solusi energi terbarukan yang inovatif dan mendukung prinsip keberlanjutan dalam desain fasilitas publik modern.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa generator langkah kaki berbasis piezoelektrik memiliki kemampuan yang signifikan dalam mengonversi energi mekanis dari pijakan manusia menjadi energi listrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan terbukti dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu berat badan pengguna, intensitas pijakan, dan tingkat keramaian lokasi. Output tegangan meningkat seiring dengan bertambahnya gaya tekan, dengan rentang rata-rata 2,1–3,8 V pada berat badan 50–75 kg.

Selain itu, lokasi dengan frekuensi pejalan kaki yang tinggi mampu meningkatkan akumulasi energi secara lebih cepat, menunjukkan bahwa jumlah siklus tekanan menjadi faktor determinan dalam optimalisasi energi piezoelektrik.

Dari aspek desain, pemilihan material dan konstruksi mekanik berperan penting dalam menjaga keandalan sensor. Kombinasi akrilik, lapisan silikon, dan konfigurasi piezoelektrik terbukti mampu menjaga distribusi tekanan tetap stabil sekaligus melindungi komponen dari kerusakan. Sistem elektronik yang digunakan, termasuk Arduino Nano dan board

proteksi baterai 1S, mampu memastikan proses monitoring dan penyimpanan energi berlangsung aman dan efisien.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa teknologi piezoelektrik berpotensi digunakan sebagai sumber energi terbarukan berskala mikro, khususnya untuk mendukung perangkat berdaya rendah dalam lingkungan publik. Meskipun demikian, terdapat beberapa keterbatasan, seperti sensitivitas terhadap variasi gaya pijakan dan ketergantungan tinggi pada intensitas lalu lintas manusia.

Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan, terutama dalam meningkatkan efisiensi konversi energi, memperbesar kapasitas penyimpanan, serta mengintegrasikan lebih banyak sensor untuk memenuhi kebutuhan aplikasi energi yang lebih luas.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem generator langkah kaki berbasis piezoelektrik pada penelitian selanjutnya.

1. Diperlukan optimasi jumlah dan konfigurasi sensor piezoelektrik agar energi yang dihasilkan lebih besar dan stabil. Penggunaan jumlah piezo yang lebih banyak, tata letak paralel-seri yang lebih efisien, serta pemilihan material piezoelektrik dengan nilai konstanta piezo yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan output tegangan secara signifikan.
2. Aspek desain mekanik perlu terus dikembangkan dengan mempertimbangkan biomekanika langkah manusia. Pengujian pada berbagai jenis permukaan, ketebalan platform, serta penggunaan material komposit yang lebih fleksibel dapat membantu memaksimalkan penyerapan gaya tekan sekaligus menjaga durabilitas alat dalam jangka panjang. Selain itu, integrasi struktur peredam yang lebih adaptif dapat mengurangi variasi tegangan

- akibat perbedaan gaya pijakan antar pengguna.
3. Dari sisi elektronik dan penyimpanan energi, diperlukan penggunaan battery management system (BMS) yang lebih canggih, superkapasitor, atau sistem hybrid baterai-kapasitor untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan serta memperpanjang umur baterai. Pengembangan sistem monitoring digital berbasis IoT atau dashboard energi juga dapat menambah nilai aplikasi generator langkah kaki dalam konteks *smart city*.
 4. Pengujian sebaiknya dilakukan dalam skala yang lebih luas, baik di ruang publik yang lebih ramai maupun dalam periode waktu yang lebih panjang. Hal ini diperlukan untuk memahami kinerja sistem dalam kondisi beban nyata, termasuk faktor kelelahan material, penurunan sensitivitas sensor, dan variasi pola gerak pengguna yang lebih beragam. Penelitian lanjutan juga dapat memperbandingkan efektivitas perangkat pada lingkungan dalam ruang dan luar ruang untuk menilai dampak kondisi cuaca dan kelembapan.

Dengan pengembangan berkelanjutan pada aspek mekanik, elektronik, dan implementasi lapangan, generator langkah kaki berbasis piezoelektrik memiliki potensi untuk menjadi solusi energi mikro yang lebih efisien, aplikatif, dan berkelanjutan dalam mendukung infrastruktur publik di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, S., & Kalamkar, V. (2021). *Piezoelectric materials and their applications in energy harvesting systems: A review*.
- Materials Today: Proceedings, 44, 2159–2164.
- Helonde, N. J., Pawar, A. S., & Kolte, A. (2021). *Footstep power generation using piezoelectric sensor*. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 10(3), 45–51.
- Khan, A., Rehman, H., & Ullah, F. (2020). *Energy harvesting from human footstep using piezoelectric materials*. Journal of Renewable Energy, 8(2), 123–130.
- Logeshwaran, M., Sheela, J. J. J., & Priya, A. P. (2022). *A high-efficiency power generator by footsteps using piezoelectric effect*. Journal of Energy Systems, 12(1), 55–63.
- Panghate, S., Barhate, P., & Chavan, H. (2020). *Advanced footstep power generation system using RFID*. International Journal of Innovative Research in Technology, 7(4), 1–6.
- Priya, S., & Inman, D. J. (Eds.). (2009). *Energy harvesting technologies*. Springer.
- Safari, A., & Akdoğan, E. K. (Eds.). (2008). *Piezoelectric and acoustic materials for transducer applications*. Springer.
- Sirohi, J., & Chopra, I. (2000). *Fundamental understanding of piezoelectric strain sensors*. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 11(4), 246–257.
- Tiwari, R., Pal, S., & Gupta, R. (2021). *Design and development of piezoelectric tiles for energy harvesting*. International Journal of Engineering Trends and Technology, 69(5), 130–137.
- Zhang, Y., & Wang, L. (2016). *Human kinetic energy harvesting for wearable devices*. Smart Materials and Structures, 25(10), 105020.