

Pemanfaatan Energi dengan Teknologi Piezoelektrik Pada Sepatu Untuk Daya Ponsel dengan Langkah Kaki Manusia

**Diana Puspita Aprilianti¹, Anna Maritza Budiman^{2*}, Dewi Anggraeni³,
John Andrew Tampubolon¹, Samsurizal¹**

1. Teknik Elektro
2. Teknik Sistem Energi
3. Teknik Informatika

Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng,
Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11750, Indonesia

**Email: anna2315044@itpln.ac.id*

Received: 13 Januari 2025 | Accepted: 18 September 2025 | Published: 18 September 2025

ABSTRACT

The aim of using piezoelectricity in shoes is to develop and test the effectiveness of smart shoes based on piezoelectric technology in generating electrical energy from the user's footsteps. The method used includes designing and assembling a piezoelectric device on a shoe, followed by testing the power produced. The research results show that smart shoes are capable of producing a voltage of 0.374 Volts and an electric current of 0.07 amperes, which is enough to charge small electronic devices, such as cellphones. From battery usage before and battery usage after the activity, the power obtained using Piezoelectric Technology is 0.334 Watts with 6,760 steps. Piezoelectric Shoes have the potential to be an environmentally friendly renewable energy solution for daily use with maximum use and usage to reduce dependence on fossil energy and carbon emissions. Further implementation and testing under extreme conditions is recommended to ensure stability and user comfort.

Keywords: *Renewable Energy, Electricity, Eco-Friendly, Piezoelectric, Shoes*

ABSTRAK

Pemanfaatan Piezoelektrik pada sepatu bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas sepatu pintar berbasis teknologi piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik dari langkah kaki pengguna. Metode yang digunakan meliputi perancangan dan perakitan perangkat piezoelektrik pada sepatu, diikuti dengan pengujian terhadap daya yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sepatu pintar mampu menghasilkan tegangan 0,374 Volt dan arus listrik 0,07 ampere yang cukup untuk mengisi daya perangkat elektronik kecil, seperti ponsel. Dari Pemakaian Baterai sebelum dan pemakaian baterai sesudah aktivitas diperoleh daya pada Teknologi Piezoelektrik sebesar 0,334 Watt dengan 6.760 langkah kaki. Sepatu Piezoelektrik berpotensi menjadi solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan untuk penggunaan sehari-hari dengan penggunaan dan pemakaian yang maksimal untuk pengurangan ketergantungan pada energi fosil dan emisi karbon. Implementasi lebih lanjut dan pengujian pada kondisi ekstrem disarankan untuk memastikan stabilitas dan kenyamanan pengguna.

Kata kunci: *Energi Terbarukan, Listrik, Ramah Lingkungan, Piezoelektrik, Sepatu*

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, energi listrik merupakan kebutuhan pokok manusia untuk dapat melaksanakan aktivitas sehari-hari. Hal tersebut menyebabkan peningkatan konsumsi listrik setiap tahun. Di Indonesia, konsumsi listrik per kapita terus meningkat ini harus diimbangi dengan ketersediaan sumber energi listrik baru dan terbarukan[1]. Krisis energi saat ini merupakan masalah yang sangat mempengaruhi keberlangsungan hidup manusia, khususnya masalah energi listrik. Perkembangan di era kemajuan teknologi saat ini sebagian besar kegiatan manusia ditunjang dengan berbagai peralatan serta teknologi yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energinya. Hal ini tentu menjadikan energi listrik sebagai bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam segala kegiatan manusia.

Pertumbuhan ekonomi nasional di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini mengakibatkan konsumsi listrik Indonesia mengalami peningkatan yang begitu besar dan akan menjadi masalah bila dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan. Sumber pembangkit listrik yang utama sekarang adalah bahan bakar fosil, akan tetapi bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui dan kesediannya yang terbatas karena memiliki jumlah massa tertentu dan apabila dipakai secara terus menerus tanpa adanya pembatasan tentu akan mengalami penurunan dan habis seiring berjalannya waktu[2].

Produksi dan pemakaian bahan bakar fosil memiliki dampak buruk bagi lingkungan, selain itu bahan bakar fosil merupakan penghasil karbon dioksida yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca. Seiring meningkatnya kebutuhan energi serta tidak seimbangnya permintaan dan persediaan energi karena pasokan bahan bakar yang menggunakan fosil mengalami penurunan maka pengembangan sumber energi alternatif sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi saat ini. Aktivitas manusia sehari-hari berpotensi menghasilkan daya yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Contohnya adalah aktivitas berjalan. Fakta itu memicu penelitian mengenai bahan piezoelektrik sebagai modul pemanen energi yang memanfaatkan aktivitas manusia[3]. Piezoelektrik dalam peran ini akan menghasilkan energi listrik ketika satu sumber energi yang lainnya telah terpenuhi. Piezoelektrik akan menghasilkan gaya gerak listrik ketika memperoleh gaya dari luar. Gaya gerak listrik ini kemudian mempengaruhi kristal yang menyusunnya.

Penggunaan perangkat elektronik dianggap telah menjadi hal yang lumrah bagi masyarakat masa kini karena dapat membuat pekerjaan. Di antara sekian banyak jenis elektronik itu, Ponsel atau gawai, merupakan alat yang lebih personal karena menjadi barang yang dibawa kemana pun sambil melakukan aktivitas. Peringkat-peringkat di bawahnya pun masih didominasi oleh jenis-jenis gawai seperti ponsel dan tablet[4].

Dampaknya, konsumsi energi yang dibutuhkan juga menjadi bertambah. Masalah baterai tersebut akhirnya memicu tingginya permintaan untuk suatu alat yang dapat menjadi sumber energi cadangan. Pertumbuhan gawai yang pesat idealnya harus disertai dengan ketersediaan energi, dan untuk gawai sendiri, bentuk energi yang dibutuhkan adalah listrik. Dengan adanya penelitian ini dan ketimpangan antara permintaan energi dengan kecukupan energi yang telah dijelaskan sebelumnya menjadi dorongan atas munculnya suatu gagasan untuk mengembangkan suatu produk baru yang dapat mengatasi masalah tersebut secara bersamaan. Jika *powerbank* masih membutuhkan sumber listrik sebagai asupan energinya, produk baru yang akan dirancang ini diharapkan dapat secara mandiri menghasilkan energi Listrik.

Adapun kelebihan dari piezoelektrik menunjukkan bahwa komponen ini bisa dengan sendiri membangkitkan tegangannya yang diberikan oleh tekanan mekanik. Namun komponen piezoelektrik ini juga memiliki beberapa kekurangan, adapun kekurangannya adalah terdapat sedikit kebocoran muatan listrik pada komponen piezoelektrik ini, karena piezo ini bukan termasuk dalam susatu dielektrik yang cukup bagus. Kekurangan dalam piezoelektrik ini adalah dalam tegangannya sering berubah-ubah, tidak stabil dalam penggunaannya[5].

Terdapat beberapa penelitian yang dilakukan mengenai teknologi piezoelektrik sesuai dengan penulisan ini. Pertama, penelitian ini berjudul Pemanen Energi Listrik Curah Hujan Melalui Transduser Piezoelektrik Secara Seri dan Paralel. Jurnal tersebut membahas tentang pemanen energi listrik dari curah hujan menggunakan transduser piezoelektrik secara seri dan paralel. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yang melibatkan variasi tekanan air hujan pada prototipe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian seri lebih efektif dalam menghasilkan tegangan rata-rata yang lebih besar daripada rangkaian paralel. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan kinerja pengubahan energi titik hujan menjadi energi listrik melalui sirkuit rangkaian piezoelektrik dan perbedaan parameter curah hujan. Selain itu, jurnal juga mencakup proses perakitan prototipe, pengambilan data, dan saran untuk penelitian selanjutnya, seperti melakukan pengujian dengan tipe piezoelektrik lain dan pengembangan alat agar lebih efisien[6].

Kedua, Penelitian Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik sebagai penghasil sumber Energi Dengan Tekanan Anak Tangga. Membahas penelitian tentang penggunaan sensor piezoelektrik pada anak tangga untuk menghasilkan energi listrik alternatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pembangkit listrik yang dibuat bekerja dengan baik meskipun tegangan dan arus yang dihasilkan sangat kecil. Energi listrik terbaik diperoleh saat menaiki tangga sebesar 5,47V dengan arus 0.11 mA dari 10 rangkaian paralel, dan saat menuruni tangga sebesar 5.80V dengan arus 0.13 mA dari 5 rangkaian paralel 4 seri. Penelitian menyarankan penggunaan lebih banyak sensor piezoelektrik untuk menghasilkan energi yang lebih besar. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan kaki saat menuruni anak tangga lebih besar dibanding saat menaiki anak tangga[7].

Ketiga, penelitian Rantai Pembangkit Listrik menggunakan Piezoelektrik Dengan Buck Converter LM2596. penelitian tersebut membahas penggunaan piezoelektrik sebagai sumber energi listrik pada rantai pembangkit listrik. Penelitian menggunakan metode balanced cantilever dan buck converter LM2596 untuk menurunkan tegangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemanenan energi ini memiliki efisiensi 0%. Rantai pembangkit listrik berbasis piezoelektrik menghasilkan tegangan dan arus yang tidak stabil saat diuji dengan converter, sehingga energi yang dihasilkan tidak dapat dipanen. Studi menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan belum mencapai nilai minimum yang dibutuhkan. Beberapa uji coba dilakukan dengan converter step up, namun hasilnya juga tidak memenuhi syarat minimum. Referensi yang digunakan mencakup penelitian sebelumnya tentang pemanenan energi menggunakan piezoelektrik[8].

Pada penelitian lain, mengenai piezoelektrik yaitu Perancangan Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Carrier Bag Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah. Perancangan tas gunung ini dibuat dengan tujuan untuk menghasilkan energi listrik yang mampu memenuhi kebutuhan para pendaki khususnya kebutuhan untuk mengisi peralatan elektronik dengan daya Piezoelektrik. menggunakan pendekatan eksperimental, yang melibatkan serangkaian desain dan eksperimen langsung

berdasarkan studi teoritis dari sejumlah literatur. Dengan menggunakan piezoelektrik, yang mampu mengubah gaya tekanan menjadi energi listrik. sehingga dapat menghasilkan listrik yang dapat digunakan oleh pengguna untuk mengisi daya perangkat elektronik berdaya rendah dan baterai ponsel[9].

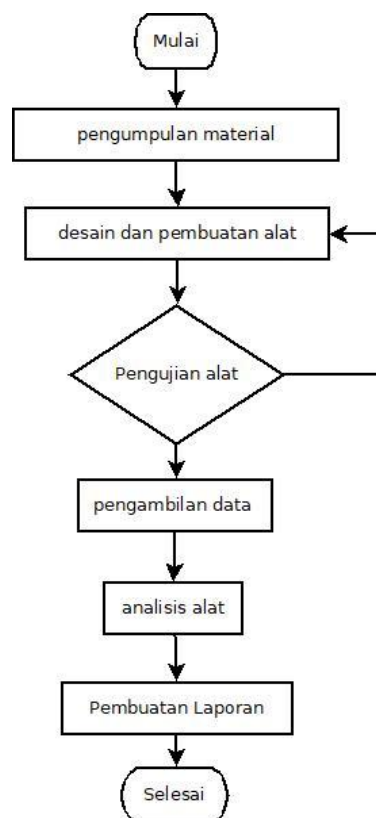
Sedangkan, pada penelitian Rancang Bangun Sumber Pembangkit Energi Listrik Berbasis Piezoelektrik Pada Sepatu Untuk Pendaki Gunung. penelitian ini menghasilkan tegangan input listrik kemudian ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) yang datanya diolah menggunakan mikrokontroler Arduino Uno melalui sensor tegangan. Alat ini mampu mengisi daya kebutuhan elektronik saat mendaki gunung seperti *handphone/smartphone* dan lampu penerangan. Pengujian dilakukan dengan bervariasi kondisi medan pegunungan pada keadaan diam, berjalan, dan jalan mendaki. Alat ini mampu menghasilkan tegangan maksimal sebesar 22,4 V dan arus maksimal 18,4 mA saat jalan mendaki. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan oleh kaki dari pendaki gunung, maka semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan[10].

Dari penelitian yang sudah dilakukan terdapat keterbaruan dari teknologi berbasis piezoelektrik ini oleh karenanya piezoelektrik digunakan sepatu untuk mendapatkan energi dari setiap langkah kaki manusia

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Alur Kerja Penelitian

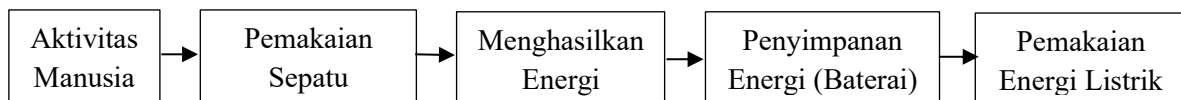
Dalam metode/perancangan penelitian ini dapat dilihat alur kerja pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Perancangan Awal Sistem

Dalam perancangan sistem ini dikonseptualisasikan untuk memanfaatkan teknologi piezoelektrik dalam pintar guna menghasilkan energi terbarukan dari aktivitas manusia. Material piezoelektrik yang dipilih untuk integrasi dalam sepatu harus mempertimbangkan kemampuannya dalam menghasilkan listrik dari tekanan mekanis seperti langkah kaki atau gerakan tubuh. Desain ini akan menyesuaikan lokasi optimal untuk penempatan material piezoelektrik, seperti di bagian sol atau area sekitar tumit dan telapak kaki, untuk memaksimalkan pengumpulan energi tanpa mengurangi kenyamanan atau performa sepatu.

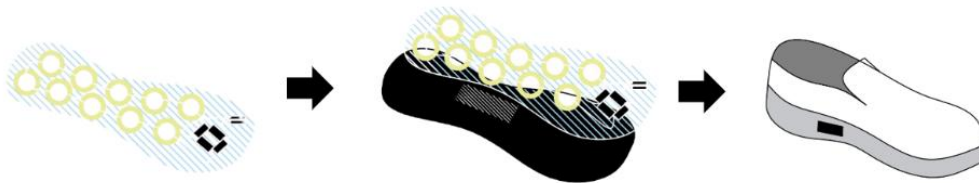


Gambar 2. Diagram Blok Perancangan Sistem Awal

2.3. Perancangan Desain

Dalam tahap ini dilakukan perancangan alat secara visualisasi alat menggunakan *software Autocad* untuk desain 2D alat dan sistem kerja sepatu piezoelektrik.

Gambar 2. Perancangan Desain Sepatu



2.4. Perakitan Rangkaian Piezoelektrik

Pada rangkaian ini, setiap sepatu menggunakan dua rangkaian yang masing-masing terdiri dari 20 piezoelektrik yang disusun secara seri, kemudian dihubungkan secara paralel. Energi yang dihasilkan oleh piezoelektrik diarahkan menggunakan empat dioda tipe IN4002 yang disusun secara paralel, untuk memastikan arus searah. Energi tersebut kemudian disimpan sementara di kapasitor elektrolit (Elco) berkapasitas $1\mu\text{F}$ 50V, dan akhirnya dialirkan ke baterai untuk penyimpanan daya.

2.5. Pembuatan Sepatu Piezoelektrik

Tahap pembuatan alat dimulai dengan perancangan desain mekanik sepatu pintar yang dirancang untuk memuat komponen utama, seperti sensor piezoelektrik dan baterai. Pembuatan alat ini merupakan bentuk realisasi dari desain yang telah direncanakan sebelumnya. Pemasangan rangkaian piezoelektrik menjadi salah satu tahap yang paling menantang, karena sensor-sensor piezoelektrik harus ditempatkan dengan presisi pada area tumit dan telapak kaki untuk memaksimalkan penyerapan tekanan.

2.6. Pengujian dan Simulasi Alat

Energi yang dihasilkan dari modul piezoelektrik ini selanjutnya disalurkan melalui rangkaian penyearah arus menggunakan dioda IN4002 untuk memastikan bahwa arus yang dihasilkan tetap stabil dan dapat digunakan. Setelah proses penyearahan, energi tersebut disimpan dalam kapasitor elektrolit berkapasitas $1\mu\text{F}$ 50V untuk menstabilkan

tegangan sebelum dialirkan ke baterai lithium-ion tipe 18650 VCT 6A. Baterai ini memiliki kapasitas 3,7 Volt dan 3300 mAh, yang dirancang untuk menyimpan energi listrik secara efisien. Penyimpanan energi ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pengisian daya perangkat elektronik, seperti gadget atau ponsel, terutama dalam situasi darurat atau di lingkungan yang jauh dari sumber daya listrik konvensional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi piezoelektrik pada sepatu pintar mampu mengonversi tekanan mekanis dari langkah kaki menjadi energi listrik. Pengujian dilakukan menggunakan 20 piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel. Pengujian ini di dapat dari nilai baterai sebelum dilakukan pengujian dan Nilai baterai sesudah dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menentukan seberapa banyak langkah kaki dari aktivitas manusia untuk menghasilkan energi.

3.1. Hasil Data Pengujian

Pengujian pertama mengukur tegangan, arus dan daya pada baterai dengan menggunakan multimeter. Kemudian, melakukan aktivitas atau pergerakan berupa langkah kaki pada manusia akan dihitung dengan menggunakan software yang terdapat pada gawai. Setelah aktivitas dilakukan baterai yang terdapat pada sepatu akan diukur kembali dengan multimeter untuk melihat daya yang dihasilkan dari piezoelektrik. Berikut hasil pengujian sepatu piezoelektrik yang ditunjukkan nilai arus dan tegangan pada gambar 3.

Pengukuran Baterai Sebelum Pengujian



Gambar (a) Tegangan Baterai sebelum Pengujian



Gambar (b) Arus Baterai Sebelum Pengujian

Pengukuran Baterai Sebelum Pengujian



Gambar (a) Tegangan Baterai setelah Pengujian



Gambar (b) Arus Baterai setelah Pengujian

Gambar 3. Hasil Pengujian Sepatu Piezoelektrik

Berikut Tabel 1. Hasil Pengujian tegangan, arus dan daya baterai pada sepatu piezoelektrik sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Baterai pada Sepatu Piezoelektrik

Baterai	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
Sebelum pengujian	3,486	0,17	0,592
Sesudah Pengujian	3,860	0,24	0,926

Hasil tersebut daya pada baterai bertambah. Namun, daya yang diperoleh dengan 20 piezoelektrik yang terpasang pada sepatu mampu bertambah dengan skala yang sangat kecil. dengan langkah kaki yang dapat dilihat dari Gambar 3. grafik hasil langkah kaki pengujian. Piezoelektrik memberikan daya dimana pada perhitungan baterai yang di gunakan dalam pengujian didapatkan persamaan (1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Daya yang dihasilkan} &= \text{Daya Sesudah Pengujian} - \text{Daya Sebelum Pengujian} \quad (1) \\ 0,334 \text{ Watt} &= 0,926 \text{ Watt} - 0,592 \text{ Watt} \\ 0,334 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas, daya yang dihasilkan pada piezoelektrik dalam pengujian dengan menggunakan baterai sesudah pengujian sebesar 0,926 Watt dikurangi dengan baterai sebelum pengujian sebesar 0,592 Watt yaitu 0,334 Watt dengan 6.760 langkah kaki dari aktivitas manusia.



Gambar 4. Grafik Hasil Langkah Kaki Pengujian

Dengan Grafik Hasil pengujian langkah kaki yang di ukur dengan bantuan software yang terdapat dalam gawai. Dilihat bahwa untuk aktivitas pergerakan 6.760 Langkah kaki mampu memberikan daya sebesar 0,334 Watt dari 20 buah Piezoelektrik yang terdapat pada sepatu.

3.2. Analisis Pengujian Sepatu Pintar Piezoelektrik

Dari hasil pengujian yang dilakukan, prototipe sepatu pintar berbasis piezoelektrik berhasil menghasilkan tegangan sebesar 0,374 Volt dan Arus Sebesar 0,07 Ampere dengan Daya 0,334 Watt. Dalam kondisi optimal, diperoleh melalui penginjakan secara kontinu dalam memanfaatkan tekanan mekanis dari langkah kaki pengguna. Untuk mendapatkan daya yang maksimum yang mampu menyalakan daya ponsel dalam menggunakan teknologi piezoelektrik perlu membutuhkan lebih dari 6.760 langkah kaki untuk mencapai atau memenuhi daya pada ponsel dan menjadikan sepatu ini mampu menyediakan sumber energi mikro yang cukup signifikan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan pada sepatu piezoelektrik, hasil pengujian menunjukkan bahwa Piezoelektrik menghasilkan tegangan, arus dan daya dari Pemakaian Baterai sebelum dan pemakaian baterai sesudah aktivitas diperoleh daya pada Teknologi Piezoelektrik sebesar 0,334 Watt dengan 6.760 langkah kaki. Untuk mendapatkan daya yang besar dalam piezoelektrik yang sangat rendah perlunya lebih banyak langkah atau lebih dari 6.670 langkah kaki untuk menyalakan daya pada ponsel. Piezoelektrik diletakkan pada posisi yang kurang efektif sehingga tekanan yang diperoleh Piezoelektrik kurang maksimal, hal ini juga yang menyebabkan tegangan dan arus yang diperoleh sangat rendah dikarenakan tekanan yang diberikan tidak tepat pada tempat titik pijak sehingga banyak energi yang diberikan terbuang. dengan cara lain, dibutuhkan lebih dari 20 piezoelektrik untuk mempercepat peroleh daya yang dibutuhkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN atas pendanaan hibah program Student Research Challenge (SRC) tahun 2024, yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi PLN melalui LPPM dan BKMK yang telah memberi dukungan dan membantu pelaksanaan penelitian ini. Hasil penelitian dari program ini dapat di selesaikan dalam bentuk tulisan artikel yang dapat dipublikasi. Semoga artikel ini dapat menambah khasanah keilmuan untuk para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Agung and A. Suryana, *Krisis Energi dan Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan*. Jakarta: Penerbit Energi Nusantara, 2011.
- [2] B. Gunawan and H. Setiawan, *Teknologi Piezoelektrik dan Potensinya sebagai Sumber Energi Alternatif*. Bandung: Teknologi Masa Depan Press, 2015.
- [3] R. Handayani and S. Nugroho, *Dampak Konsumsi Energi terhadap Lingkungan dan Solusinya*. Surabaya: Lingkungan Hijau Publisher, 2017.
- [4] Susanto, T., *Pengembangan Energi Mandiri untuk Gawai dan Perangkat Elektronik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2019.
- [5] U. Pemhaugunan panc, "Perancangan Sistem Pengisian Baterai Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Menggunakan Sensor Piezoelektrik Berdasarkan Berat Tekanan Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk Menempuh ujian Akhir Mernperolen ft131 sarjana Tehik pada Falml," 2021.
- [6] A. Moonik, J. Rantung, and B. Maluegha, "Pemanen Energi Listrik Dari Curah Hujan Melalui Transduser Piezoelektrik Secara Seri Dan Paralel," *Jurnal Poros Teknik Mesin*, vol. 12, no. 2–3, pp. 1–12, 2022.
- [7] D. A. Prasetyo and R. F. Pradistia, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Dengan Tekanan Anak Tangga," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 55–64, 2022. doi: 10.23917/emitor.v22i1.15140.
- [8] D. Rahmawati, M. Ulum, M. Farisal, and K. Joni, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596," *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 7, no. 3, p. 84, 2021. doi: 10.19184/jaei.v7i3.28128.
- [9] M. F. F. Achmad Ali Fikri, Syamsul Arifin, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah," *הארץ*, vol. 2, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.
- [10] F. A. Ramadhan et al., "Rancang Bangun Sumber Pembangkit Energi Listrik Berbasis Piezoelektrik Pada Sepatu Untuk Pendaki Gunung," *Jurnal Teknik Elektro dan Fisika*, vol. 11, no. 3, pp. 285–291, 2022.