

Rancang Bangun Piezoelektrik Pada *Insole* Sepatu Sebagai Generator Listrik Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik

Hermawati¹, Caroline¹, Ike Bayusari¹, Rahmawati¹, Diah Fitriani¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya

Indralaya, Indonesia

Penulis Korespondensi : herma08@gmail.com

Abstrak— Energi yang sebelumnya terbuang tanpa disadari dapat dimanfaatkan untuk menciptakan bentuk tenaga listrik yang ramah lingkungan. Sumber daya listrik dapat diperoleh dengan konversi yang dihasilkan dari tekanan kaki manusia saat berjalan atau berlari dengan konsep penuaian energi piezoelektrik. Penelitian ini melibatkan analisis teoritis dan eksperimental untuk mengevaluasi efisiensi serta nilai keluaran dari konfigurasi rangkaian seri dan paralel dengan variasi langkah kaki. Prototipe piezoelektrik menghasilkan keluaran berupa tegangan dan arus AC yang kemudian dikonversikan menjadi tegangan dan arus DC dengan memanfaatkan rangkaian penyearah dioda bridge. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan 2 konfigurasi rangkaian dan 10 variasi langkah kaki didapatkan nilai keluaran terbesar pada konfigurasi rangkaian paralel dengan langkah kaki sebanyak 250 langkah dengan tegangan sebesar 5,11 V dan arus sebesar 1,54 mA, dengan daya yang dihasilkan sebesar $78,694 \times 10^{-4}$ Watt. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rangkaian paralel menghasilkan nilai tegangan dan arus keluaran yang lebih baik dibandingkan dengan rangkaian seri, serta nilai tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan masing-masing konfigurasi rangkaian berbanding lurus dengan banyaknya langkah kaki.

Kata Kunci— Piezoelektrik, Tekanan, *Insole* Sepatu, Daya Listrik.

Abstract— *Energy that was previously wasted unnoticed can be harnessed to create an environmentally friendly form of electrical power. The source of electrical power can be obtained by conversion generated from the pressure of human feet while walking or running with the concept of piezoelectric energy harvesting. This research involves theoretical and experimental analysis to evaluate the efficiency as well as the output value of the series and parallel circuit configurations with footstep variations. The piezoelectric prototype produces output in the form of AC voltage and current which is then converted into DC voltage and current by utilizing a diode bridge rectifier circuit. Based on the results of measurements and calculations that have been carried out using 2 circuit configurations and 10 footstep variations, the largest output value is obtained in the parallel circuit configuration with 250 footsteps with a voltage of 5.11 V and a current of 1.54 mA, with the resulting power of $78,694 \times 10^{-4}$ Watt. From the research that has been done, it can be concluded that the parallel circuit produces better output voltage and current values compared to the series circuit, and the output voltage and current values produced by each circuit configuration are directly proportional to the number of footsteps.*

Keywords— *Piezoelectric, Pressure, Shoes Insole, Electrical Power.*

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini listrik telah menjadi bagian penting dalam kehidupan manusia. Listrik di Indonesia rata-rata berasal dari pembangkitan listrik dengan tenaga fosil. Meskipun demikian, pembangkit listrik konvensional menempati peringkat kedua dalam hal pencemaran terhadap polusi udara yaitu menyumbang 31,93% emisi, menjadikannya salah satu sumber polusi udara terbesar. Perkembangan energi terbarukan di negara-negara maju telah mengalami peningkatan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu penelitian yang menarik dalam bidang ini adalah penelitian tentang bahan piezoelektrik, yang mengacu pada penemuan penting oleh Pierre dan Jacques Curie pada tahun 1880 terkait efek piezoelektrik. Penemuan ini memiliki potensi besar untuk diintegrasikan ke dalam konsep manajemen energi atau *Energy Harvesting*. Energi yang sebelumnya terbuang tanpa disadari dapat dimanfaatkan untuk menciptakan bentuk tenaga listrik yang ramah lingkungan. Sumber daya listrik dapat diperoleh dengan konversi yang dihasilkan dari tekanan kaki manusia saat berjalan atau berlari dengan menggunakan pengaturan mekanik dan konsep penuaian energi piezoelektrik. Pada tahun 2020, Stiawan dan Taufiq melakukan penelitian mengenai alat penghasil energi listrik dari tekanan mekanik yang berbasis piezoelektrik. Penelitian dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan pada pijakan piezoelektrik, yaitu dengan menggunakan beban manusia dengan berat 55 kg, 60 kg, 75 kg, dan 85 kg dengan penyusunan

piezoelektrik secara paralel. Pengujian pada penelitian terhadap pijakan manusia menghasilkan tegangan keluaran berturut-turut sebagai berikut; 2,15 VDC, 2,16 VDC, 2,19 VDC, dan 2,23 VDC, dengan arus keluarannya masing-masing adalah 0,005 mA, 0,006 mA, 0,010 mA, dan 0,027 mA. Untuk bobot manusia masing-masing 55 kg, 60 kg, 75 kg, dan 85 kg, daya yang diperoleh sebesar 0,02 mW, 0,02 mW, 0,02 mW, dan 0,07 mW [1].

Oleh karena itu atas dasar penelitian di atas, penelitian kali ini dirancanglah sebuah rancang bangun sebuah prototipe yang menggunakan sensor piezoelektrik dalam sepatu sebagai alat pijaknya. Sehingga memungkinkan pengisian baterai berdaya rendah yang dapat digunakan dalam situasi darurat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Piezoelektrik

Pada tahun 1880, Jacques dan Currie menemukan fenomena piezoelektrik, yang mengacu pada kategori material dengan karakteristik unik. Ketika tekanan diterapkan pada kristal piezoelektrik, piezoelektrik akan menghasilkan listrik melalui polarisasi muatan. Kata *piezo*, yang berarti memberikan tekanan, dan *elektrik*, yang berarti listrik atau elektron, digabungkan menjadi istilah piezoelektrik. Sehingga dapat disimpulkan dari kombinasi kedua istilah ini bahwa piezoelektrik adalah istilah untuk listrik yang dihasilkan karena adanya tekanan. Muatan listrik pada bahan piezoelektrik dihasilkan melalui efek piezoelektrik.

B. Prinsip Kerja Piezoelektrik

Pada material piezoelektrik terdapat sebuah efek yaitu efek piezoelektrik yang terjadi ketika bahan tersebut berada di bawah tekanan dan menghasilkan muatan listrik [2]. Molekul terpolarisasi dalam bahan piezoelektrik akan sejajar dengan medan listrik ketika melewati medan tersebut, sehingga terjadi pembentukan dipol yang terinduksi pada kristal atau struktur molekul bahan tersebut. Dimensi material berubah akibat penyesuaian molekuler ini.

Selain itu, terdapat dua jenis efek yang berbeda pada bahan piezoelektrik yaitu efek piezoelektrik terbalik dan langsung. Ketika tekanan mekanis diterapkan, efek piezoelektrik langsung menghasilkan potensial listrik. Sebaliknya, ketika tegangan listrik diterapkan, efek piezoelektrik menghasilkan tekanan mekanis. Muatan positif dan negatif sering kali dipisahkan dalam kristal piezoelektrik tetapi muatan tersebut dapat tersebar secara simetris, sehingga menjadikan kristal tersebut menjadi netral [3].

C. Bahan Piezoelektrik

Bahan yang dikenal sebagai piezoelektrik menghasilkan medan listrik sebagai respons terhadap tekanan atau regangan mekanis. Ketika suatu material dikenai medan listrik, material tersebut akan mengalami tekanan atau regangan mekanis [3].

Berikut adalah beberapa bahan piezoelektrik [4]:

- Natural-Occuring Crystal*
Seperti : *Rochelle salt* (NaKC4H4O6), *Quartz*, *Tourmaline*, *Berlinite* (AlPO4)
- Kristal buatan
Seperti : *Gallium orthophosphate* (GaPO4, GP), *Langasite* (La3Ga5SiO14, LGS)
- Keramik
Seperti : *Lead Zirconate Titanate* atau yang biasa disebut PZT, *Lead Lanthanum Zirconate Titanate* (PLZT), *Barium Titanate* (PT), *Lithium Niobate* (LiNbO3), dan *Tantalate* (LiTaO3)
- Polimer
Seperti : *Polyvinylidene Flouride* (PVDF)
- Piezokeramik *Lead-Free*
Seperti : *Sodium potassium niobate*, *Bismuth ferrite* (BiFeO3)

D. Rangkaian Hubung Seri

Rangkaian seri adalah rangkaian yang arusnya mengalir hanya pada satu jalur. Dalam rangkaian seri piezoelektrik nilai arus yang mengalir akan sama dalam semua bagian rangkaian [5]. Rangkaian seri piezoelektrik dapat dirangkai dengan menghubungkan bagian positif dari piezoelektrik pertama ke bagian negatif dari piezoelektrik kedua, dan bagian positif dari piezoelektrik kedua dihubungkan secara seri dengan bagian negatif piezoelektrik ketiga, dan seterusnya.

Secara sistematis rangkaian seri dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_N \quad (1)$$

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_N \quad (2)$$

dimana,

I_{total} = Arus total pada rangkaian (A)

V_{total} = Tegangan total pada rangkaian (V)

E. Rangkaian Hubung Paralel

Rangkaian paralel adalah sebuah susunan rangkaian dimana dua atau lebih komponen dihubungkan pada sumber tegangan yang sama [5]. Rangkaian paralel piezoelektrik disusun dengan menghubungkan masing-masing komponen piezoelektrik positif dan negatif ke satu titik melingkupi rangkaian piezoelektrik paralel. Prinsip dari rangkaian paralel adalah bahwa arus yang mengalir pada setiap cabang akan berbeda-beda, tergantung pada resistansi di masing-masing cabang dan beda potensial pada setiap cabang. Sementara itu, tegangan pada setiap cabang akan sama dengan tegangan sumber.

Secara sistematis rangkaian seri dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_N \quad (3)$$

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = V_N \quad (4)$$

dimana,

I_{total} = Arus total pada rangkaian (A)

V_{total} = Tegangan total pada rangkaian (V)

F. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan daya nyata yang ditransfer atau dikonsumsi oleh beban. Energi panas, energi mekanik, dan energi cahaya yang diukur dalam watt adalah beberapa contoh daya aktif. Besaran daya aktif pada rangkaian listrik bolak-balik yang tegangan dan arusnya berupa gelombang sinusoidal, dapat berubah-ubah seiring waktu [6].

$$P = V.I.Cos \theta \quad (5)$$

dimana,

P = Daya aktif (Watt)

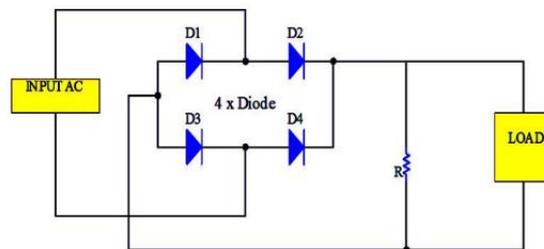
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos θ = Faktor daya

G. Rangkaian Penyearah

Keluaran perangkat piezoelektrik yaitu berupa tegangan AC, atau sinyal impuls. Namun, hal ini tidak dapat dimanfaatkan secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem sirkuit yang dikenal dengan sistem pengumpulan energi (Harvesting Energy). Rangkaian penyearah gelombang penuh adalah penyearah yang menghasilkan tegangan DC dari siklus positif dan negatif tegangan AC [7]. Sistem ini terdiri dari komponen-komponen seperti media penyimpanan energi, pengatur tegangan, dan penyearah. Dalam suatu rangkaian listrik, penyearah dan pengatur gelombang menggabungkan kemampuan pengatur tegangan dan penyearah jembatan menjadi satu perangkat. Bentuk gelombang yang dihasilkan dalam rangkaian penyearah gelombang penuh tidak mengalami perbedaan. Akan tetapi, karena setengah dari fase bentuk gelombang yang berlawanan akan terbalik sehingga menyebabkan lembah menjadi puncak bentuk gelombang [8]. Empat dioda yang ditempatkan dalam bentuk jembatan dapat digunakan untuk mewakili penyearah sistem jembatan dasar. Dioda D1 dan D3 mengubah tegangan positif sinyal sinus, sedangkan Dioda D2 dan D4 mengubah tegangan negatif.



Gambar 1. Rangkaian Penyearah Jembatan [8]

H. Baterai Lithium-Ion 18650

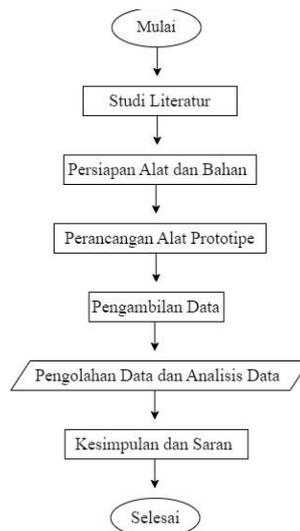
Proses pengisian baterai melibatkan serangkaian tahap, terdapat tahapan utama terkait, yaitu arus konstan dan tegangan konstan. Arus konstan terjadi ketika charger memberikan arus pengisian yang stabil selama periode tertentu hingga mencapai tegangan baterai yang telah ditetapkan. Sebaliknya, tegangan konstan terjadi setelah

baterai mencapai tegangan tertentu selama fase arus konstan, di mana tegangan tersebut dipertahankan hingga tahap pengisian mendekati nol. Ketika sel baterai dihubungkan dengan sumber daya listrik, elektroda positif akan menjadi anoda dan elektroda negatif akan menjadi katoda [3]. Baterai lithium ion termasuk dalam kategori baterai sumber arus sekunder yang dapat diisi ulang. Pada tahun 1980, Rachid Yazami menggantikan logam lithium di anoda dengan grafit, perubahan ini signifikan meningkatkan performa *Lithium-Ion Battery* sehingga membuatnya menjadi baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable*) [9].

III. METODELOGI PENELITIAN

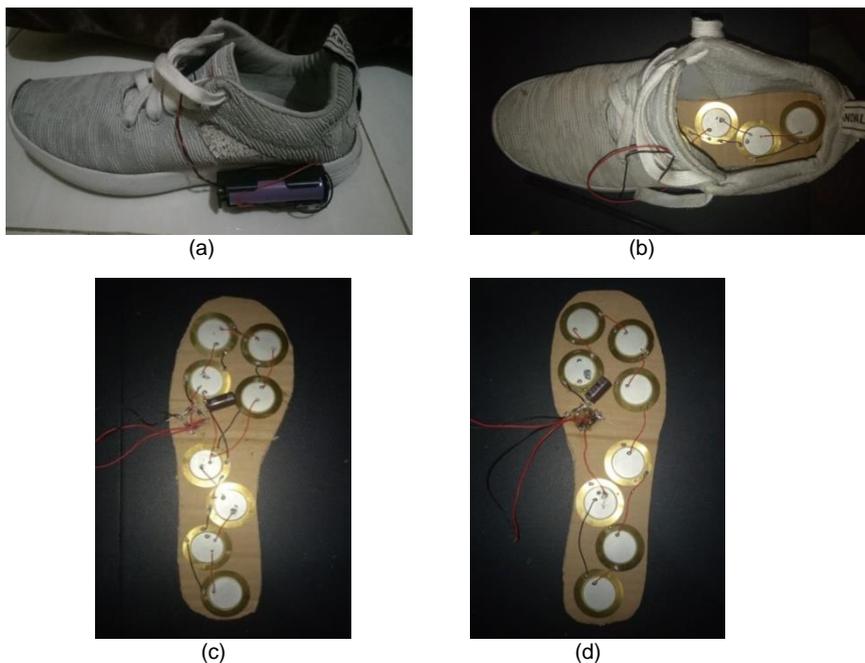
Lokasi yang digunakan untuk perancangan, pembuatan, pengujian, dan pengambilan data pada alat dilakukan di perkarangan rumah. Penelitian dimulai dengan melakukan perencanaan dan konsep penelitian, lalu melakukan studi literatur pada buku serta jurnal, melakukan penulisan proposal, merangkai alat, melakukan pengambilan data, dan menganalisis serta menarik kesimpulan.

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

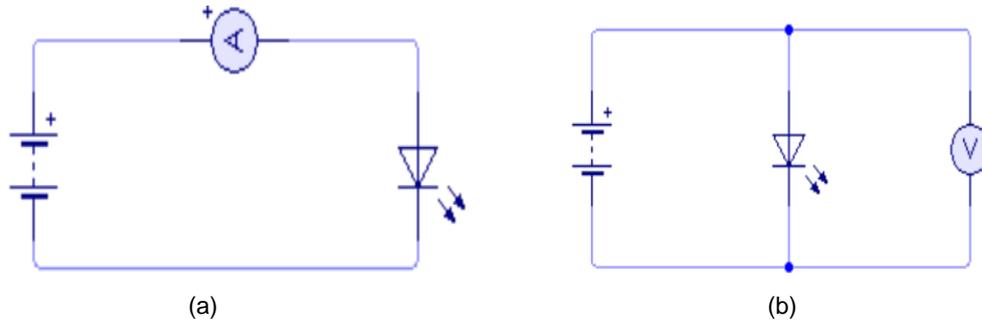
B. Rangkaian Alat Penelitian



Gambar 3. Alat Penelitian

Gambar 3. (a) merupakan tampak bagian luar sepatu yang ditelakkan baterai dilengkapi dengan *powerbank charging module* pada bagian samping sepatu. Gambar 3. (b) merupakan tampak dalam sepatu dimana prototipe penelitian diletakkan yang kemudian akan diletakkan alas sepatu dengan ketebalan 6mm pada bagian atas prototipe agar sepatu nyaman digunakan. Gambar 3 (c) merupakan rangkaian paralel piezoelektrik, gambar (d) merupakan rangkaian seri piezoelektrik. Kedua rangkaian disusun dengan 8 keping keramik piezoelektrik jenis PZT dengan ukuran 35mm, yang disambungkan dengan rangkaian penyearah atau dioda bridge sebagai pengubah tegangan dan arus AC (*Alternating Current*) menjadi DC (*Direct Current*) serta disambungkan dengan kapasitor sebagai penstabil serta penyimpan energi sementara dan LED sebagai beban.

C. Rangkaian Pengujian Alat



Gambar 4. Rangkaian Pengujian Keluaran

Gambar 4 (a) merupakan skema rangkaian pengujian arus keluaran. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian arus keluaran dengan konfigurasi rangkaian seri dan konfigurasi rangkaian paralel. Gambar 4 (b) merupakan skema rangkaian pengujian tegangan keluaran, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian tegangan keluaran dengan konfigurasi rangkaian seri dan konfigurasi rangkaian paralel.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam implementasinya, uji coba difokuskan pada beban seberat 65 kg dengan jumlah langkah kaki manusia. Parameter utama penelitian ini melibatkan keluaran tegangan, arus, dan daya. Sementara itu proses perhitungan tetap menjadi perhatian. Prototipe diberi beban dan jumlah langkah tertentu, serta tegangan dan arusnya akan diukur untuk dilakukan pengumpulan data. Pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan secara paralel dengan kapasitor pada rangkaian penyearah. Pengukuran arus dengan multimeter dihubungkan secara seri dengan kapasitor pada rangkaian penyearah dan beban berupa LED. Prototipe diuji sebanyak 10 kali dalam konfigurasi rangkaian seri dan 10 kali dalam rangkaian paralel.

A. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan

TABEL 1. DATA HASIL PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN RANGKAIAN SERI

| Rangkaian | Langkah Kaki | Pengukuran | | |
|-----------|--------------|--------------|-----------|-------------------------|
| | | Tegangan (V) | Arus (mA) | Daya (Watt) |
| Seri | 25 | 1,63 | 0,15 | $2,445 \times 10^{-4}$ |
| | 50 | 2,14 | 0,28 | $5,992 \times 10^{-4}$ |
| | 75 | 2,56 | 0,39 | $9,984 \times 10^{-4}$ |
| | 100 | 2,72 | 0,44 | $11,968 \times 10^{-4}$ |
| | 125 | 2,98 | 0,52 | $15,496 \times 10^{-4}$ |
| | 150 | 3,30 | 0,61 | $20,130 \times 10^{-4}$ |
| | 175 | 3,54 | 0,72 | $25,488 \times 10^{-4}$ |
| | 200 | 3,87 | 0,80 | $30,960 \times 10^{-4}$ |
| | 225 | 4,13 | 0,94 | $38,822 \times 10^{-4}$ |
| | 250 | 4,47 | 1,10 | $49,170 \times 10^{-4}$ |

TABEL 2. DATA HASIL PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN RANGKAIAN PARALEL

| Rangkaian | Langkah Kaki | Pengukuran | | |
|-----------|--------------|--------------|-----------|-------------------------|
| | | Tegangan (V) | Arus (mA) | Daya (Watt) |
| Paralel | 25 | 2,16 | 0,21 | $4,536 \times 10^{-4}$ |
| | 50 | 2,41 | 0,33 | $7,953 \times 10^{-4}$ |
| | 75 | 2,85 | 0,46 | $13,110 \times 10^{-4}$ |
| | 100 | 3,30 | 0,58 | $19,140 \times 10^{-4}$ |
| | 125 | 3,55 | 0,61 | $21,655 \times 10^{-4}$ |
| | 150 | 3,83 | 0,72 | $27,576 \times 10^{-4}$ |
| | 175 | 4,13 | 0,86 | $35,518 \times 10^{-4}$ |
| | 200 | 4,52 | 0,92 | $41,584 \times 10^{-4}$ |
| | 225 | 4,75 | 1,34 | $63,650 \times 10^{-4}$ |
| | 250 | 5,11 | 1,54 | $78,694 \times 10^{-4}$ |

Data tegangan dan arus yang telah didapatkan akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya. Perhitungan nilai daya pada rangkaian seri dan rangkaian paralel terdapat pada lampiran data.

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Cos ϕ dianggap bernilai 1 dikarenakan keluaran yang dihasilkan prototipe adalah keluaran DC.

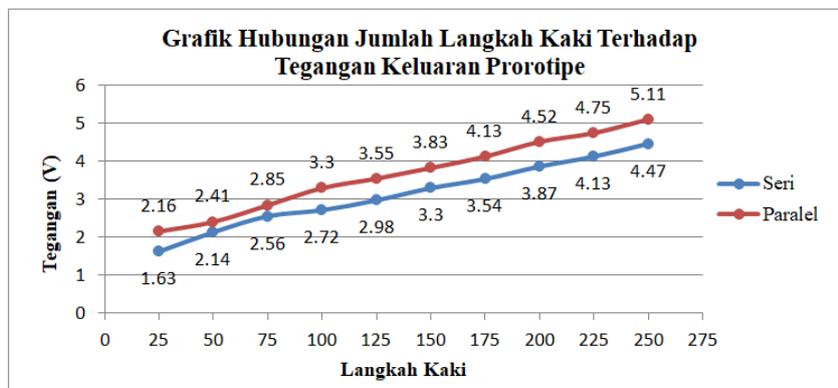
Perhitungan daya pada rangkaian seri

$$P = 1,63 \text{ V} \times 0,15 \text{ mA} \times 1 = 2,445 \times 10^{-4} \text{ Watt}$$

Perhitungan daya pada rangkaian paralel

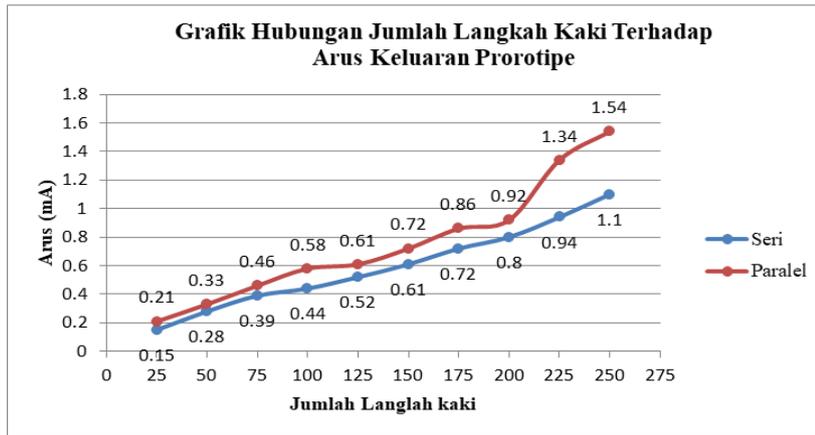
$$P = 2,16 \text{ V} \times 0,21 \text{ mA} \times 1 = 4,536 \times 10^{-4} \text{ Watt}$$

B. Hasil dan Analisis



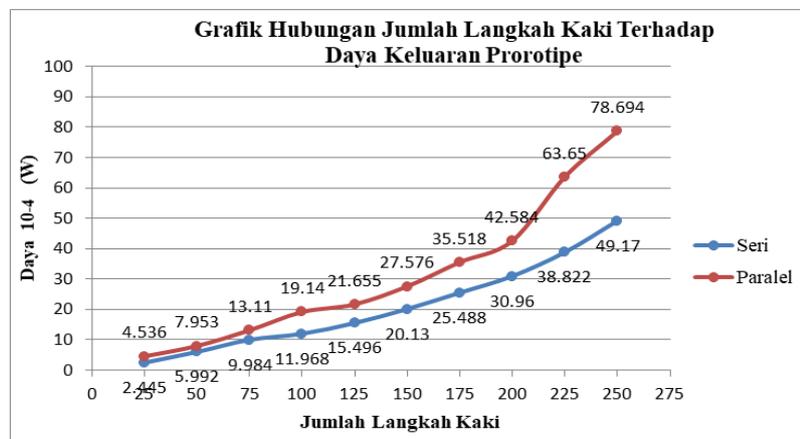
Gambar 5. Grafik Hubungan Jumlah Langkah Kaki Terhadap Tegangan Keluaran Prototipe

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan terbesar dihasilkan dengan jumlah langkah kaki sebanyak 250 langkah yang menghasilkan tegangan sebesar 5,11 V pada konfigurasi rangkaian paralel. Sedangkan, nilai tegangan terkecil dihasilkan dengan jumlah langkah kaki sebanyak 25 langkah yang menghasilkan tegangan sebesar 1,63 V pada konfigurasi rangkaian seri. Dari grafik tersebut terlihat bahwa jumlah langkah kaki berbanding lurus dengan nilai tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi. Semakin banyak langkah kaki yang diuji pada prototipe akan semakin besar juga tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian paralel cenderung lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan akan sama besar pada setiap piezoelektrik. Sedangkan pada rangkaian seri, tegangan merupakan hasil penjumlahan dari total tegangan yang mengalir melalui setiap komponen. Sehingga, jika salah satu komponen tidak berfungsi dengan baik akan menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang signifikan di seluruh rangkaian.



Gambar 6. Grafik Hubungan Jumlah Langkah Kaki Terhadap Arus Keluaran Prototipe

Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai arus terbesar yang dihasilkan oleh prototipe adalah pada konfigurasi rangkaian paralel dengan 250 langkah kaki yaitu sebesar 1,54 mA, sedangkan nilai arus terkecil dihasilkan oleh rangkaian seri dengan jumlah langkah kaki sebanyak 25 langkah yaitu sebesar 0,15 mA. Pada piezoelektrik dengan konfigurasi rangkaian seri menghasilkan arus terkecil senilai 0,15 mA dengan jumlah langkah kaki sebanyak 25 langkah dan arus terbesar dihasilkan pada jumlah langkah kaki sebanyak 250 langkah yaitu 1,1 mA. Pada grafik juga terlihat bahwa rangkaian dengan jumlah piezoelektrik yang sama menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian paralel cenderung menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian seri. Hal ini disebabkan karena arus yang dihasilkan piezoelektrik yang dirangkai secara paralel merupakan penjumlahan dari banyaknya jumlah piezoelektrik yang digunakan, sedangkan arus yang dirangkai seri akan sama besar pada setiap piezoelektrik [10].



Gambar 7. Grafik Hubungan Jumlah Langkah Kaki Terhadap Daya Keluaran Prototipe

Gambar 7 menunjukkan grafik daya yang dihasilkan oleh masing-masing konfigurasi rangkaian dan masing-masing langkah kaki yang digunakan. Pada prototipe dengan banyaknya jumlah langkah kaki yang digunakan, daya yang dihasilkan semakin meningkat, daya memiliki nilai yang semakin meningkat. Pada prototipe piezoelektrik dengan konfigurasi rangkaian, terlihat bahwa rangkaian paralel menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian seri. Pada rangkaian seri daya terkecil yang dihasilkan sebesar $2,445 \times 10^{-4}$ Watt dan daya terbesar yang dihasilkan sebesar $49,170 \times 10^{-4}$ Watt. Sedangkan pada rangkaian paralel daya terkecil yang dihasilkan sebesar $4,536 \times 10^{-4}$ Watt dan daya terbesar yang dihasilkan yaitu $78,694 \times 10^{-4}$ Watt. Pada grafik terlihat bahwa daya terdapat peningkatan yang cukup pesat pada saat jumlah langkah kaki mencapai 200 - 250 langkah. Hal ini disebabkan karena nilai tegangan dan arus yang dihasilkan juga semakin meningkat dikarenakan banyaknya tekanan yang masuk semakin banyak. Sehingga, pada saat langkah kaki sebanyak 200-250 langkah daya yang dihasilkan meningkat dengan cukup pesat. Hasil pengujian prototipe dengan 2 konfigurasi rangkaian yaitu rangkaian seri dan paralel menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian paralel menghasilkan nilai

daya yang lebih tinggi daripada konfigurasi rangkaian seri. Hal ini disebabkan oleh karena piezoelektrik dalam rangkaian seri menyerap arus masing-masing piezoelektrik. Sehingga, nilai daya keluaran akan terbagi. Sementara itu, setiap arus piezoelektrik mengalir langsung ke titik pengukuran keluaran pada rangkaian paralel. Sehingga nilai daya, keluaran bernilai lebih besar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Prototipe insole sepatu dengan menggunakan piezoelektrik jenis PZT berjumlah 8 buah yang dirangkai dengan konfigurasi rangkaian seri dan paralel dapat dijadikan penghasil energi berskala mini karena daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe masih sangat kecil namun bisa digunakan untuk mencharge baterai, powerbank dan handphone. Rangkaian paralel menghasilkan tegangan dan arus lebih besar dibandingkan dengan rangkaian seri, hal ini disebabkan pada rangkain paralel tegangan yang dihasilkan lebih tinggi karena rangkaian paralel dapat mengumpulkan arus secara kontinu. Rangkaian paralel menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian seri dikarenakan tegangan pada rangkaian paralel akan sama besar pada setiap piezoelektrik, sehingga tegangan yang masuk akan sama besar. Piezoelektrik jenis PZT merupakan jenis piezoelektrik yang mudah pecah, sehingga menyebabkan beberapa piezoelektrik yang digunakan dalam penelitian menjadi rusak dikarenakan penempatan piezoelektrik yang kurang tepat.

B. Saran

1. Melakukan penelitian mengenai desain yang lebih optimal pada prototipr insole sepatu agar sepatu dapat digunakan lebih nyaman serta dapat menghasilkan nilai keluaran yang lebih baik.
2. Melakukan pengujian piezoelektrik dengan material bahan lainnya seperti material bahan polimer seperti *Polyvinylidene Diflouride (PVDF)*.
3. Melakukan penelitian mengenai material piezoelektrik baru yang memiliki sifat piezoelektrik yang lebih baik serta memiliki respons atau proteksi yang tinggi terhadap tekanan agar prototipe dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Stiawan and A. J. Taufiq, "Rancang Bangun Alat Pemanen Energi Listrik Dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 79–84, 2020, doi: 10.30595/jrre.v2i2.8280.
- [2] Ulil Albab, Rony Darpono, and Fahreza Moch Revikansyah, "Rancang Bangun Sistem Informasi Gempa Menggunakan Raspberri Pi Berbasis Web," *J. Ilm. Sains Teknol. Dan Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–20, 2023, doi: 10.59024/jiti.v1i1.118.
- [3] M. R. A. Islami, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2022.
- [4] P. S. V. S. R. and B. P. R. B. Chandra Sekhar, B. Dhanalakshmi, B. Srinivasa Rao, S. Ramesh, K. Venkata Prasad, *Piezoelectricity and Its Applications*. IntechOpen, 2021.
- [5] F. Khoirun Nisa *et al.*, "Analisis Pemahaman Konsep Rangkaian Listrik Seri dan Paralel melalui Praktikum Sederhana," vol. 6, no. 2, pp. 107–118, 2024, [Online]. Available: <https://belaindika.nusaputra.ac.id/indexbelaindika@nusaputra.ac.id>.
- [6] A. T. Nugraha and R. P. Eviningsih, *Konsep Dasar Elektronika Daya*. Yogyakarta: DEEPUBLISH, 2022.
- [7] N. Naibaho and M. Rofiq Hidayat, "Rancang Bangun Sistem Kendali Perlintasan Kereta Api Berbasis Arduino Uno," p. 6, 2023.
- [8] I. Ashari, M and R. Setiawan, "Analisa RT434A sebagai Pemancar untuk Remote Monitoring Level Daya Speaker Berbasis Mikrokontroler," *J. Din. Dotcom*, vol. 10, no. 1, pp. 73–82, 2019.
- [9] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, 2021, doi: 10.20961/inkuri.v9i2.50082.
- [10] Abdul Fajar Kallawa, Agus Fikri, and Mohammad Mujirudin, "Pengaruh Rangkaian Seri Dan Paralel Terhadap Tegangan Pada Piezoelektrik," *Met. J. Manufaktur, Energi, Mater. Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 52–57, 2022, doi: 10.22236/metalik.v1i2.11041.