

Analisis Performa Pembangkit Listrik Pada Lantai Berbasis Piezoelektrik Untuk Pengisian Baterai Lithium

Peprizal¹, Zanu Saputra², Ade Putra Maulana³, Bram Tirta⁴, Gerhana⁵

^{1,2,3,4,5}Rekayasa Elektro dan Industri Pertanian, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Sungailiat Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

e-mail: Peprizal@polman-babel.ac.id¹, zanusaputra@gmail.com², adeputramaulana01@gmail.com³,
tirtabram45@gmail.com⁴, gerhanaa674@gmail.com⁵

Received : Oktober, 2025

Accepted : Desember, 2025

Published : Desember, 2025

Abstract

The depletion of fossil energy resources has driven the exploration of alternative and sustainable energy solutions. One potential approach is the use of piezoelectric materials, which can convert mechanical energy from human footsteps into electricity. This study designed and evaluated a piezoelectric floor prototype with a parallel configuration and applied it to charge a 1500 mAh lithium-ion 18650 battery. The prototype was tested under walking and jumping footsteps with different user masses, and its performance was assessed based on voltage and current outputs as well as changes in battery voltage during charging. The results showed that the prototype generated voltages of 0.9–10.1 V with currents up to 2.8 mA, with jumping footsteps producing the highest output. In the charging tests, the input current exceeded the battery's reverse current, enabling charging, although the voltage gain per cycle remained small (0.014–0.020 V) with an estimated charging time of 76–100 days. These findings confirm the prototype's role as a proof of concept and suggest that further optimization of piezoelectric modules, floor mechanics, and power management circuits is required to improve practicality in micro-scale renewable energy applications.

Keywords: piezoelectric, renewable_energy, prototype, parallel configuration, lithium-ion battery

Abstrak

Keterbatasan sumber energi fosil mendorong pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang mulai dikaji adalah pemanfaatan material piezoelektrik yang mampu mengonversi energi mekanik dari pijakan kaki manusia menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi kinerja prototipe lantai piezoelektrik dengan konfigurasi paralel serta mengimplementasikannya pada proses pengisian baterai lithium-ion tipe 18650 berkapasitas 1500 mAh. Pengujian dilakukan melalui variasi pola pijakan melintas dan melompat dengan perbedaan massa pengguna, sedangkan kinerja sistem dianalisis berdasarkan tegangan dan arus keluaran serta perubahan tegangan baterai selama proses pengisian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe menghasilkan tegangan antara 0,9–10,1 V dengan arus hingga 2,8 mA, dimana pijakan melompat memberikan keluaran tertinggi. Pada pengujian pengisian baterai, arus masuk telah melebihi arus balik sehingga proses pengisian berlangsung, namun peningkatan tegangan per siklus masih terbatas pada 0,014–0,020 V dengan estimasi waktu pengisian penuh mencapai 76–100 hari. Temuan ini menegaskan bahwa prototipe berfungsi sebagai proof of concept dan membuka peluang pengembangan lebih lanjut melalui optimalisasi jumlah piezoelektrik, desain mekanis, dan integrasi rangkaian manajemen daya agar lebih aplikatif dalam pemanfaatan energi terbarukan skala mikro.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik global terus mengalami peningkatan yang signifikan linear dengan pertumbuhan populasi dan pesatnya perkembangan teknologi digital. Ketergantungan yang masih tinggi pada bahan bakar fosil memunculkan tantangan serius, tidak hanya karena keterbatasan cadangan yang semakin menipis, tetapi juga akibat dampak lingkungan yang ditimbulkannya berupa pencemaran dan percepatan perubahan iklim [1], [2].

Energi terbarukan seperti surya, angin, dan hidro telah dimanfaatkan dalam pembangkitan listrik, tetapi sifatnya yang bergantung pada kondisi cuaca dan lokasi membuat kontinuitas pasokan belum optimal [3], [4].

Sebagai alternatif, teknologi energy harvesting berbasis piezoelektrik menawarkan potensi pemanfaatan energi mekanik yang memanfaatkan pijakan kaki, getaran, atau tekanan, untuk dikonversi menjadi energi listrik, tanpa menimbulkan polusi tambahan, ramah lingkungan, dan tidak ketergantungan terhadap kondisi cuaca [5].

Aplikasi piezoelektrik telah diteliti untuk memanfaatkan energi pijakan kaki guna mengoperasikan perangkat berdaya rendah [6]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pola pijakan, massa pengguna, desain mekanis, dan konfigurasi rangkaian sangat mempengaruhi efektivitas pembangkit listrik berbasis piezoelektrik [7], [8], [9], [10]. Namun, mayoritas penelitian hanya menganalisis tegangan, arus, atau daya, tanpa mengintegrasikan sistem dengan penyimpanan energi. Implementasi pengisian baterai, khususnya tipe 18650 yang umum digunakan, masih terbatas.

Dengan beberapa permasalahan yang ada, maka tersusun rumusan masalah yaitu bagaimana pembangkit listrik dari pijakan kaki manusia melalui berbasis piezoelektrik dapat menghasilkan dan menyimpannya dalam baterai lithium 18650.

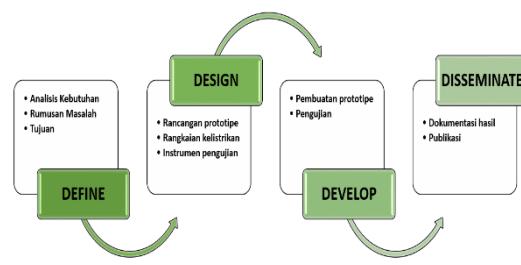
Dari permasalahan dan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan menguji

prototipe pembangkit listrik pada lantai berbasis piezoelektrik dalam pengisian baterai lithium 18650, sehingga dapat memberikan kontribusi praktis terhadap pengembangan teknologi energy harvesting untuk aplikasi berdaya rendah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* yang bertujuan untuk menghasilkan prototipe sistem pembangkit listrik tenaga tekanan berbasis piezoelektrik sekaligus menguji efektivitasnya dalam mengisi daya baterai 18650. Metode ini relevan karena mampu menjembatani proses perancangan, pengembangan, hingga evaluasi perangkat teknologi secara sistematis. Selain itu, pendekatan *R&D* banyak digunakan dalam penelitian energi terbarukan berbasis piezoelektrik karena dapat menghasilkan keluaran berupa prototipe yang aplikatif sekaligus memberikan data empiris dari proses pengujian [11], [12].

Tahapan penelitian yang akan dilakukan yaitu menggunakan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate). Berikut model 4D disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model 4D

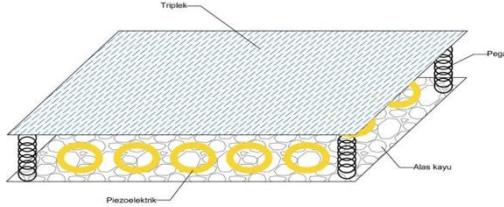
1. Tahap Define (Pendefinisan)

Tahap ini dilakukan untuk menganalisis kebutuhan, merumuskan masalah, dan menetapkan tujuan penelitian agar fokus pada pengembangan prototipe sesuai gap yang ditemukan.

2. Tahap Design (Perancangan)

Bagian ini merancang prototipe, membangun rangkaian kelistrikan (rectifier and boost converter), serta menentukan instrumen pengujian.

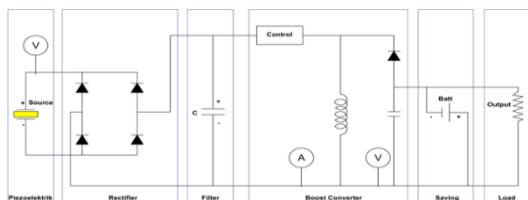
Pertama pembuatan desain media sebagai tempat pijakan kakai yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Media Pijakan Kaki

Media bawah menggunakan alas kayu dan triplek pada bagian atas sebagai media pijakan. Pada bagian tengah ditempel piezoelektrik, dan dipasang pegas sebagai pengaman serta media elastis. Ketika media diinjak maka piezoelektrik mengalami deformasi mekanis sehingga menghasilkan tegangan listrik karena perubahan polaritas material.

Selanjutnya membuat desain rangkaian penyearah untuk mengkonversi tegangan AC yang dihasilkan prototipe menjadi tegangan DC, sehingga dapat disimpan menggunakan baterai. Berikut ini ditampilkan rangkaian penyearah pada Gambar 3.

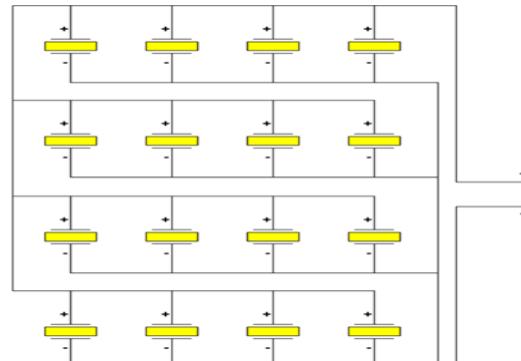


Gambar 3. Blok Diagram Sistem-Rectifier

Sinyal DC yang masih berfluktuasi kemudian distabilkan dengan kapasitor filter. Selanjutnya, tegangan dikontrol menggunakan DC to DC boost converter, yang berfungsi mengatur level tegangan agar sesuai dengan kebutuhan baterai 18650. Optimisasi konverter ini penting karena keluaran piezoelektrik cenderung fluktuatif, dan beberapa penelitian bahkan mengembangkan topologi baru untuk meningkatkan stabilitas serta efisiensi konversi daya [13]. Energi listrik yang telah distabilkan kemudian dialirkan ke baterai 18650 sebagai media penyimpanan sebelum akhirnya dapat digunakan untuk beban.

Selanjutnya agar diperoleh keluaran arus yang lebih besar, seluruh piezoelektrik disusun dalam konfigurasi paralel. Susunan ini dipilih karena

menjaga tegangan keluaran tiap elemen tetap sama, sementara arus total meningkat seiring bertambahnya jumlah piezoelektrik yang dipasang. Konfigurasi paralel juga lebih andal karena sistem tetap berfungsi meski salah satu elemen piezoelektrik mengalami kerusakan [9]. Berikut ditampilkan konfigurasi rangkaian pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Paralel

Secara matematis, karakteristik konfigurasi paralel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_p = V_{p1} = V_{p2} = \dots V_{pn} \quad (1)$$

$$I_p = I_{p1} + I_{p2} + \dots I_{pn} \quad (2)$$

dimana V_p adalah tegangan keseluruhan piezoelektrik dan I_p adalah arus keseluruhan piezoelektrik.

3. Tahap Develop (Pengembangan)

Tahap ini membangun prototipe sesuai desain, mengintegrasikan rangkaian pengisian baterai, dan melakukan pengujian variasi pijakan terhadap daya tersimpan. Berikut pemasangan elemen piezoelektrik disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Instalasi Piezoelektrik

Prototipe dibangun menggunakan elemen piezoelektrik dengan tipe Ceramic Disc, dimensi 27 mm, tegangan nominal saat saat diberi tekanan sebesar 10 V-30 V AC.

4. Tahap Disseminate (Penyebaran)

Tahap terakhir ini yaitu pelaporan hasil pengujian, menganalisis efektivitas sistem, dan mempublikasikan temuan serta rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pola pijakan, yaitu berjalan dan melompat, serta perbedaan massa pejalan kakai. Dengan demikian, parameter yang diukur mencakup tegangan keluaran, arus keluaran, serta performa pengisian baterai 18650. Data hasil pengujian digunakan untuk menilai efektivitas sistem dalam mengonversi energi mekanik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian perpipakan pada rangkaian pengecasan

Pengujian awal dilakukan untuk mengetahui performa prototipe dalam menghasilkan keluaran tegangan dan arus pada saat mendapat pijakan. Uji ini dilakukan dengan mempertimbangkan variasi massa pengguna dan pola pijakan, yang terdiri atas metode melintas dan melompat. Parameter utama yang diamati adalah tegangan keluaran (V) dan arus keluaran (mA), yang masing-masing dicatat pada setiap pijakan. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi bagaimana variasi massa maupun intensitas gaya pijakan memengaruhi respons sistem terhadap konversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Berikut proses pengujian pada prototipe Pembangkit Listrik Pada Lantai Berbasis Piezoelektrik disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prototipe Media Pijakan Pembangkit Listrik Berbasis Piezoelektrik

Hasil pengujian pertama dilakukan dengan massa pengguna sebesar 69 kg menggunakan metode melintas yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Pengujian dengan metode melintas pada prototipe menggunakan massa 69kg dan beban rangkaian pengecasan

pijakan kaki menjadi energi listrik yang dapat disimpan.

Berdasarkan kerangka teori dan rancangan prototipe yang telah dibuat, penelitian ini memiliki hipotesis bahwa prototipe lantai piezoelektrik dengan konfigurasi paralel mampu menghasilkan arus yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi seri, sehingga lebih efektif digunakan untuk mengisi daya baterai 18650. Selain itu, semakin besar massa pengguna dan semakin dinamis pijakan, maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan.

| Pijakan | Tegangan (V) | Arus(mA) |
|-----------|--------------|----------|
| 1 | 5,9 | 0,3 |
| 2 | 3,9 | 0,3 |
| 3 | 3,4 | 0,4 |
| 4 | 1,8 | 0,7 |
| 5 | 6 | 0,3 |
| 6 | 6,9 | 0,3 |
| 7 | 3,4 | 0,4 |
| 8 | 6,4 | 0,5 |
| 9 | 3,1 | 0,5 |
| 10 | 5,3 | 0,4 |
| Rata-Rata | 4,61 | 0,42 |

Tabel 1 menunjukkan tegangan dan arus yang dihasilkan dari 10 pijakan. Tegangan tertinggi tercatat pada pijakan ke-6 sebesar 6,9 V, sedangkan tegangan terendah pada pijakan ke-4 sebesar 1,8 V. Arus rata-rata yang dihasilkan adalah 0,42 mA, dengan nilai maksimum 0,7 mA pada pijakan ke-4. Secara keseluruhan, rata-rata tegangan yang dihasilkan adalah 4,61 V.

Perbedaan hasil dapat disebabkan oleh distribusi tekanan yang tidak merata dan sudut pijakan yang memengaruhi deformasi piezoelektrik. Hal ini sejalan dengan teori piezoelektrik yang menyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan gaya tekan dan luas kontak.

Konfigurasi parallel efektif ditandai dari hasil pengukuran dengan pijakan ke-4 menghasilkan arus tertinggi (0,7 mA) meskipun tegangannya rendah (1,8 V), sehingga dapat disimpulkan bahwa konfigurasi ini efektif meningkatkan arus.

Jika dibandingkan dengan penelitian Bram et al. [7], nilai tegangan rata-rata (4,61 V) relatif sebanding, tetapi daya yang dihasilkan masih

rendah karena keterbatasan deformasi piezoelektrik dan jumlah elemen yang digunakan. Dengan rata-rata arus 0,42 mA, daya rata-rata dapat dihitung menggunakan rumus ($P = V \times I$), diperoleh daya 1,94 mW, sehingga cukup untuk aplikasi berdaya rendah seperti sensor IoT, tetapi belum optimal untuk pengisian baterai. Dengan demikian prototipe piezoelektrik dapat berfungsi sebagai sumber energi tambahan. Untuk meningkatkan kinerja, diperlukan optimasi mekanis (misalnya mekanisme force amplification) dan penambahan jumlah elemen piezoelektrik agar daya yang dihasilkan lebih besar.

Berikutnya dilakukan pengujian dengan massa 98 kg yang dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2: Pengujian dengan metode melintas pada prototipe menggunakan massa 98kg dan beban rangkaian pengecasan

| Pijakan | Tegangan (V) | Arus(mA) |
|------------------|--------------|----------|
| 1 | 1,1 | 0,4 |
| 2 | 0,9 | 0,6 |
| 3 | 0,9 | 0,9 |
| 4 | 1,6 | 0,9 |
| 5 | 3,7 | 0,8 |
| 6 | 4,5 | 0,7 |
| 7 | 4,3 | 0,9 |
| 8 | 4,2 | 1 |
| 9 | 1,2 | 0,7 |
| 10 | 1,2 | 0,6 |
| Rata-Rata | 2,36 | 0,75 |

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa peningkatan massa dari 69 kg (pengujian pertama) menjadi 98 kg memberikan dampak signifikan terhadap arus rata-rata, yang naik dari 0.42 mA menjadi 0.75 mA (peningkatan $\pm 78\%$). Hal ini sesuai dengan teori piezoelektrik, di mana gaya tekan yang lebih besar meningkatkan deformasi material sehingga menghasilkan arus lebih tinggi. Namun, tegangan rata-rata justru turun dari 4.61 V menjadi 2.36 V, yang mengindikasikan bahwa distribusi tekanan pada pijakan lebih berat cenderung merata sehingga mengurangi puncak tegangan per elemen.

Pijakan ke-7 dan ke-8 menghasilkan arus tertinggi (1.0 mA) dengan tegangan sekitar 4.2–4.3 V, sementara daya rata-rata yang dihasilkan masih rendah. Dengan perhitungan ($P = V \times I$), daya rata-rata sekitar 1.77 mW, sedikit lebih rendah dibanding pengujian pertama (1.94

mW), karena penurunan tegangan lebih dominan daripada kenaikan arus.

Jika dibandingkan dengan kebutuhan pengisian baterai 18650, efisiensi sistem tetap sangat rendah ($<0.1\%$). Sehingga, meskipun massa lebih besar meningkatkan arus, sistem ini belum mampu memenuhi kebutuhan pengisian langsung. Implikasi praktisnya, prototipe ini lebih cocok untuk aplikasi energy harvesting skala mikro, seperti sensor IoT atau LED indikator, bukan untuk pengisian penuh baterai.

Berikutnya pengujian prototipe metode melompat dengan massa 69 kg seperti pada Tabel 3.

Tabel 3: Pengujian dengan metode melompat pada prototipe menggunakan massa 69kg dan beban rangkaian pengecasan

| Pijakan | Tegangan (V) | Arus(mA) |
|------------------|--------------|----------|
| 1 | 7,9 | 0,7 |
| 2 | 4,6 | 1,1 |
| 3 | 10,1 | 1,3 |
| 4 | 8,6 | 0,6 |
| 5 | 5,7 | 0,3 |
| 6 | 9,5 | 0,7 |
| 7 | 3,8 | 1 |
| 8 | 7,6 | 1,1 |
| 9 | 7,9 | 2,8 |
| 10 | 8,1 | 1 |
| Rata-Rata | 7,38 | 1,06 |

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa metode melompat menghasilkan tegangan dan arus yang jauh lebih tinggi dibanding metode melintas (pengujian pertama dan kedua). Tegangan rata-rata meningkat dari 4.61 V (melintas, 69 kg) menjadi 7.38 V, sedangkan arus rata-rata naik dari 0.42 mA menjadi 1.06 mA (peningkatan $\pm 152\%$). Hal ini disebabkan oleh gaya tekan yang lebih besar dan impuls yang lebih cepat saat melompat, yang meningkatkan deformasi piezoelektrik secara signifikan.

Pijakan ke-3 mencatat tegangan tertinggi (10.1 V) dengan arus 1.3 mA, sedangkan pijakan ke-9 menghasilkan arus tertinggi (2.8 mA). Perhitungan daya ($P = V \times I$), daya rata-rata sekitar $7.38 \text{ V} \times 0.00106 \text{ A} \approx 7.8 \text{ mW}$, lebih tinggi dibanding pengujian sebelumnya (1.94 mW dan 1.77 mW). Namun, jika dibandingkan dengan kebutuhan pengisian baterai 18650, efisiensi sistem masih sangat rendah ($<0.5\%$). Artinya,

meskipun metode melompat meningkatkan output secara signifikan, sistem ini tetap belum mampu mengisi baterai secara langsung.

3.2 Performa pengisian baterai 18650 per siklus pijakan

Setelah dilakukan pengujian terhadap tegangan dan arus keluaran per pijakan, tahap berikutnya adalah mengevaluasi performa sistem dalam aplikasi pengisian baterai 18650. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana energi yang dihasilkan oleh prototipe dapat disimpan pada media penyimpanan energi nyata, dalam hal ini baterai lithium-ion tipe 18650 berkapasitas 1500 mAh dengan tegangan nominal 3,7 V.

Metode pengujian dilakukan dengan memberikan interval pijakan sebesar 50 pijakan per siklus, hingga mencapai 150 pijakan. Setiap siklus diukur arus masuk ke baterai (mA) serta perubahan tegangan awal dan akhir baterai (V). Hasil pengujian awal menggunakan massa pengguna 69 kg dirangkum dalam Tabel 5..

Tabel 5: Pengujian pengisian baterai 18650 (3,7V 1500mAh) menggunakan massa 69kg

| Jumlah Pijakan | Arus Masuk ke Baterai (mA) | Tegangan Awal Baterai (V) | Tegangan Akhir Baterai (V) |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 50 | 20,4mA | 2,388V | 2,402V |
| 100 | 33,0mA | 2,425V | 2,445V |
| 150 | 44,7mA | 2,485V | 2,503V |

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan performa prototipe dalam mengisi baterai lithium-ion tipe 18650 berkapasitas 1500 mAh dengan tegangan nominal 3,7 V. Pengujian dilakukan pada tiga interval siklus pijakan, yaitu 50 pijakan (17 detik), 100 pijakan (35 detik), dan 150 pijakan (49 detik), menggunakan massa pengguna 69 kg. Setiap skenario mencatat arus masuk ke baterai serta perubahan tegangan awal dan akhir, di mana kenaikan tegangan tercatat sebesar 0,014 V, 0,020 V, dan 0,018 V secara berurutan dengan arus rata-rata masing-masing 20,4 mA, 33,0 mA, dan 44,7 mA.

Analisis hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah pijakan secara umum diikuti dengan kenaikan arus yang signifikan, meskipun kenaikan tegangan baterai tidak selalu bersifat

linier. Arus yang dihasilkan pada ketiga skenario telah melebihi arus balik baterai sebesar 9,8 mA, sehingga proses pengisian dapat berlangsung. Namun, perubahan tegangan yang masih berada pada skala milivolt mengindikasikan keterbatasan sistem, khususnya dalam skenario pengisian jangka pendek. Hal ini menegaskan bahwa energi yang ditransfer ke baterai memang nyata, tetapi masih sangat terbatas dibandingkan dengan kebutuhan pengisian penuh.

Pada pengujian dengan 50 pijakan dalam 17 detik, prototipe menghasilkan arus masuk rata-rata sebesar 20,4 mA. Tegangan baterai meningkat dari 2,388 V menjadi 2,402 V, sehingga terjadi kenaikan tegangan sebesar 0,014 V. Skenario ini menunjukkan bahwa meskipun arus yang masuk melebihi arus balik baterai sebesar 9,8 mA, peningkatan tegangan masih relatif kecil. Hal ini menandakan bahwa energi yang ditransfer ke baterai dalam waktu singkat belum cukup signifikan untuk memberikan perubahan tegangan yang besar.

Pada pengujian 100 pijakan dengan durasi 35 detik, arus masuk meningkat menjadi 33,0 mA. Tegangan baterai naik dari 2,425 V menjadi 2,445 V, atau bertambah 0,020 V. Jika dibandingkan dengan siklus 50 pijakan, terlihat adanya tren kenaikan arus yang sejalan dengan jumlah pijakan. Hal ini menegaskan bahwa semakin lama durasi pemberian tekanan, semakin besar pula energi yang dapat ditransfer ke baterai. Akan tetapi, besarnya kenaikan tegangan tetap berada dalam skala milivolt, yang mengindikasikan keterbatasan signifikan dari sistem ini dalam skenario pengisian jangka pendek.

Sementara itu, pada pengujian 150 pijakan dengan durasi 49 detik, arus masuk mencapai rata-rata 44,7 mA, dengan kenaikan tegangan baterai dari 2,485 V menjadi 2,503 V atau sebesar 0,018 V. Jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, peningkatan jumlah pijakan memang menghasilkan arus yang lebih besar, namun kenaikan tegangan justru sedikit lebih kecil dibandingkan pada siklus 100 pijakan. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor variabilitas energi mekanik pijakan, tingkat saturasi awal baterai, atau adanya kerugian energi pada rangkaian konversi. Temuan ini menegaskan bahwa hubungan antara jumlah pijakan dengan

kenaikan tegangan tidak selalu linier, meskipun tren arus menunjukkan peningkatan yang konsisten. Selain itu berdasarkan hasil ini, perhitungan matematis untuk menghitung estimasi waktu yang diperlukan untuk melakukan pengecasan baterai 18650 (3,7V 1500mAh) sampai penuh dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$\text{waktu } h = \text{kapasitas baterai} / \text{arus masuk} \quad (3)$$

dimana waktu h adalah waktu total hitung secara matematis agar baterai penuh.

Berikut perhitungan manual waktu pengisian baterai berdasarkan data pengujian 1 (50 pijakan).

$$\text{waktu } h \text{ (50 pijakan)} = 1500 / 20,4$$

$$\text{waktu } h \text{ (50 pijakan)} = 73,53 \text{ jam} = 264.708 \text{ detik}$$

Namun dikarenakan waktu h setiap siklus mewakili 0,685ms setiap waktu pengecasan yang sebenarnya (waktu s) maka waktu pengecasan yang dibutuhkan berdasarkan pengujian 1, 2 dan 3 adalah sebagai berikut:

$$\text{waktu } n = (\text{waktu } h / \text{waktu } w) \times \text{waktu } ps \quad (4)$$

dimana waktu n adalah waktu total pengisian baterai sampai penuh yang sebenarnya, waktu h adalah waktu hitung secara matematis, waktu w adalah waktu matematis yang mewakili waktu yang sebenarnya (0,685ms), dan waktu ps adalah waktu yang dibutuhkan per siklus.

$$\text{waktu } n = (264.708 / 0,685) \times 17$$

$$\text{waktu } n = 6.569.395 \text{ detik} = 76,035 \text{ hari}$$

Berdasarkan estimasi perhitungan, arus sebesar 20,4 mA (50 pijakan) membutuhkan sekitar 73,53 jam, sedangkan arus 33,0 mA (100 pijakan) membutuhkan 45,45 jam, dan arus 44,7 mA (150 pijakan) memerlukan 33,56 jam untuk mengisi penuh baterai berkapasitas 1500 mAh. Namun, ketika mempertimbangkan waktu siklus aktual, durasi pengisian nyata menjadi sangat panjang, yaitu sekitar 76 hari pada siklus 50 pijakan, 97 hari pada siklus 100 pijakan, dan 100 hari pada siklus 150 pijakan. Kondisi ini menegaskan bahwa meskipun sistem mampu menghasilkan energi listrik yang dapat disalurkan ke baterai, efisiensinya masih sangat rendah untuk penggunaan praktis.

Secara keseluruhan, data ini memperlihatkan bahwa prototipe memang mampu melakukan pengisian terhadap baterai 18650, meskipun dengan laju yang sangat lambat. Peningkatan arus dengan bertambahnya jumlah pijakan menunjukkan potensi dari sistem piezoelektrik sebagai sumber energi alternatif, namun masih terbatas pada fungsi pembuktian konsep (proof of concept). Untuk dapat digunakan secara lebih luas dalam aplikasi nyata, dibutuhkan strategi optimalisasi lebih lanjut, misalnya dengan meningkatkan jumlah modul piezoelektrik, memperbaiki desain mekanis lantai agar distribusi tekanan lebih efisien, atau mengintegrasikan rangkaian penguat daya (power management circuit) yang mampu memaksimalkan energi hasil pijakan. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa sistem piezoelektrik memiliki prospek dalam pemanfaatan energi terbarukan skala mikro, khususnya untuk aplikasi pengisian perangkat berdaya rendah, meskipun penerapannya pada baterai berkapasitas besar masih memerlukan pengembangan lanjutan.

Dengan demikian, hasil pengujian pada tahap ini menegaskan bahwa prototipe lantai piezoelektrik paralel memang mampu mentransfer energi listrik ke dalam baterai 18650, meskipun dengan efisiensi yang masih rendah. Temuan ini memperkuat posisi penelitian sebagai upaya implementasi nyata dari teknologi piezoelektrik untuk sistem pengisian daya, bukan semata kajian teoretis atau simulasi. Keterbatasan yang muncul, seperti laju pengisian yang sangat lambat dan besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi penuh, memberikan gambaran realistik mengenai tantangan dalam pemanfaatan piezoelektrik sebagai sumber energi alternatif. Oleh karena itu, bagian ini menjadi dasar penting untuk penelitian lanjutan yang berfokus pada pengembangan desain, penambahan jumlah elemen, serta integrasi rangkaian konversi dan manajemen daya agar sistem dapat lebih layak diaplikasikan pada kebutuhan energi skala praktis.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah merancang dan menguji prototipe lantai piezoelektrik dengan konfigurasi paralel untuk menjawab tantangan pemanfaatan energi mekanik dari pijakan kaki manusia sebagai sumber energi alternatif. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa prototipe mampu menghasilkan tegangan dalam rentang 0,9–10,1 V dan arus hingga 2,8 mA, dengan kinerja yang lebih baik pada pola pijakan melompat dibandingkan melintas. Variasi massa pengguna juga berpengaruh terhadap besarnya arus yang dihasilkan, meskipun tidak memberikan hubungan linier terhadap tegangan keluaran. Temuan ini menegaskan bahwa pola dan intensitas pijakan merupakan faktor yang menentukan dalam performa sistem.

Pengujian pada aplikasi pengisian baterai 18650 berkapasitas 1500 mAh menunjukkan bahwa arus masuk telah melampaui ambang arus balik baterai sehingga proses pengisian dapat berlangsung. Namun, kenaikan tegangan per siklus masih sangat terbatas, hanya berkisar 0,014–0,020 V, dengan estimasi waktu pengisian penuh mencapai 76–100 hari. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem telah berfungsi sesuai rancangan sebagai *proof of concept*, tetapi efisiensinya masih rendah untuk pemanfaatan praktis.

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperlukan pengembangan lebih lanjut melalui peningkatan jumlah elemen piezoelektrik, penggunaan material dengan koefisien piezoelektrik lebih tinggi, serta optimasi desain mekanis dan integrasi rangkaian manajemen daya yang lebih efisien. Langkah tersebut diharapkan dapat meningkatkan densitas energi keluaran dan mempercepat proses pengisian, sehingga prototipe ini berpotensi untuk diterapkan pada kebutuhan energi terbarukan skala mikro di masa mendatang.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemendiktiastek) melalui program PDP BIMA, yang telah memberikan dukungan pendanaan penelitian dengan nomor kontrak 021/C3/DT.05.00/PL/2025. Dukungan tersebut berperan penting dalam kelancaran pelaksanaan penelitian ini hingga dapat diselesaikan sesuai dengan rentang waktu serta capaian yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Divine Kobbi, N. Henry Alombah, and

- [2] N. Martin Ngwa, "Energy Harvesting Technologies in Electric Vehicles and Applications in Sustainable Agricultural Transportation: A Review," *J. Renew. Energy Mech.*, vol. 7, no. 02, pp. 55–81, 2024, doi: 10.25299/rem.2024.17798.
- [3] V. Dwisari, S. Sudarti, and Y. Yushardi, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 376–384, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i2.3322.
- [4] S. Sharma, R. Kiran, P. Azad, and R. Vaish, "A review of piezoelectric energy harvesting tiles: Available designs and future perspective," *Energy Convers. Manag.*, vol. 254, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115272.
- [5] J. C. T. Go, A. K. A. Remolino, J. M. P. Sanchez, and K. E. Paz, "Harvesting Energy through Piezoelectric Tiles: A Comparative Study of Wood, Porcelain, and Ceramic Tiles," *Educ. JSMT*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.37134/ejsmt.vol10.1.1.2023.
- [6] A. C. Aydin and O. Çelebi, "Piezoelectric Materials in Civil Engineering Applications: A Review," *ACS Omega*, vol. 8, no. 22, pp. 19168–19193, 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c00672.
- [7] M. He, S. Wang, X. Zhong, and M. Guan, "Study of a piezoelectric energy harvesting floor structure with force amplification mechanism," *Energies*, vol. 12, no. 18, 2019, doi: 10.3390/en12183516.
- [8] B. Tirta and Z. Saputra, "Impact of load distribution on energy generation in a piezoelectric floor prototype," vol. 8, no. 02, 2025, doi: 10.25299/rem.2025.vol8(02).24936.
- [9] X. Zhong, H. Wang, L. Chen, and M. Guan, "Design and Comparative Study of a Small-Stroke Energy Harvesting Floor Based on a Multi-Layer Piezoelectric Beam Structure," *Micromachines*, vol. 13, no. 5, 2022, doi: 10.3390/mi13050736.
- [10] E. Susanti and I. Bistama, "Perancangan Sistem Penerangan Lampu Dengan Teknologi Piezoelektrik Pzt Di Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan," *Sigma Tek.*, vol. 3, no. 1, pp. 50–60, 2020, doi: 10.33373/sigma.v3i1.2455.
- F. Mujtahida, R. P. Ramadhani, I. D. Cahyani, A. P. Maharani, and M.

- Fadhilah5, "Systematic Literature Review on the Effectiveness of LDPE and PET Waste in Piezoelectric Paving with a DC Coupling System," *Int. J. Curr. Sci. Res. Rev.*, vol. 08, no. 11, pp. 5598–5612, 2025, doi: 10.47191/ijcsrr/V8-i11-17, Impact Factor: 8.048.
- [11] M. H. Alfatiha, "Perancangan Dan Implementasi Alat Pembangkit Listrik Hybrid Mengunakan Tenaga Surya Dan Piezoelectric (P-Supir)," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 219–230, 2024, doi: 10.30604/jti.v6i2.271.
- [12] Peprizal and N. Syah, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Web Pada Mata Pelajaran Instalasi Penerangan Listrik [Development of Web-Based Learning Media in Electrical Lighting Installation Subjects]," *J. Ilm. Pendidik. dan Pembelajaran*, vol. 4, no. 3, pp. 455–467, 2020.
- [13] M. Hosseinpour, M. Heydarvand, and M. E. Azizkandi, "A new positive output DC–DC buck–boost converter based on modified boost and ZETA converters," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–22, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-71612-y.