

## **ANALISIS KOMPARATIF PENERAPAN ENERGI PIJAKAN KAKI PIEZOELEKTRIK DI AREA PUBLIK**

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF PIEZOELECTRIC FOOTSTEP ENERGY IMPLEMENTATION IN PUBLIC AREAS**

**Meri Puspita Sari<sup>1\*</sup>, Erna Daniati<sup>1</sup>**

\*E-mail: [meripuspita212@gmail.com](mailto:meripuspita212@gmail.com)

<sup>1</sup>Sistem Informasi, Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Nusantara PGRI Kediri

#### **Abstrak**

Pemanfaatan energi terbarukan skala mikro semakin dibutuhkan untuk mendukung keberlanjutan energi di ruang publik. Salah satu teknologi yang berkembang adalah pijakan kaki berbasis piezoelektrik yang mampu mengubah tekanan langkah manusia menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis komparatif penerapan teknologi tersebut di dua negara, yaitu Inggris dan Jepang, dengan meninjau berbagai literatur dan studi kasus. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* yang berfokus pada efektivitas teknis, keluaran energi, serta faktor keberhasilan dan hambatan implementasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian, beban pijakan, serta modifikasi mekanis sangat memengaruhi besarnya energi yang dihasilkan. Jepang lebih menekankan penerapan skala besar di area transit dengan kepadatan tinggi, sedangkan Inggris melalui Pavegen lebih fokus pada aspek interaktivitas, edukasi, dan keterlibatan masyarakat. Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi pijakan kaki piezoelektrik berpotensi diadaptasi di Indonesia dengan memulai proyek percontohan pada area publik padat, sekaligus sebagai sarana edukasi energi berkelanjutan.

**Kata kunci:** Energi piezoelektrik, Pijakan kaki, Area publik, Analisis komparatif

#### **Abstract**

*The demand for micro-scale renewable energy sources is increasing to support energy sustainability in public spaces. One of the emerging technologies is footstep-based piezoelectric systems, which convert human steps into electrical energy. This study aims to provide a comparative analysis of the implementation of this technology in two countries, namely the United Kingdom and Japan, by reviewing related literature and case studies. The method applied is a systematic literature review focusing on technical effectiveness, energy output, as well as success factors and implementation challenges. The findings indicate that circuit configuration, step load, and mechanical modification strongly influence the amount of energy generated. Japan emphasizes large-scale applications in high-density transit areas, while the United Kingdom through Pavegen focuses more on interactivity, education, and public engagement. From this comparison, it can be concluded that footstep piezoelectric technology has potential to be adapted in Indonesia by initiating pilot projects in crowded public areas, while also serving as an educational tool for sustainable energy awareness.*

**Keywords:** Piezoelectric energy, Footstep, Public areas, Comparative analysis

## **1. PENDAHULUAN**

Energi listrik menjadi kebutuhan dasar dalam aktivitas sosial-ekonomi modern. Ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil menyebabkan tantangan keberlanjutan: ketersediaan yang terbatas

serta dampak lingkungan dari emisi pembangkit konvensional. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan skala mikro yang dapat dimanfaatkan di fasilitas publik padat lalu-lintas menjadi menarik sebagai opsi pelengkap untuk mengurangi beban konsumsi listrik konvensional dan meningkatkan ketahanan energi lokal [1], [2].

Salah satu pendekatan yang mendapat perhatian adalah pemanenan energi dari tekanan mekanik pijakan manusia menggunakan elemen piezoelektrik. Teknologi ini telah diuji dalam berbagai konfigurasi dari keset pijakan, lantai pemanen, hingga anak tangga di stasiun dengan tujuan memanen energi kinetik langkah menjadi listrik yang dapat disimpan untuk kebutuhan daya rendah seperti penerangan LED, pengisian perangkat elektronik, atau sensor IoT. Meskipun energi per elemen relatif kecil, potensi kumulatif pada lokasi padat-pejalan menawarkan kontribusi nyata bila desain, konfigurasi rangkaian, dan sistem penyimpanan dikelola baik [3], [4].

Namun penelitian terdahulu menunjukkan beberapa isu kunci: variasi keluaran akibat konfigurasi seri vs paralel, keterbatasan daya nyata dibandingkan klaim teoretis, daya tahan (*durability*) elemen piezo, serta aspek biaya dan skalabilitas saat diimplementasikan pada infrastruktur publik berskala besar. Perbandingan pengalaman penerapan di negara-negara dengan konteks berbeda (Jepang dengan implementasi stasiun padat vs lokasi di Indonesia) belum banyak difokuskan dalam kajian komparatif yang menyatukan aspek teknis, biaya, dan aspek implementasi sosial-organisasional [5], [6]. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis komparatif penerapan sistem pemanen energi pijakan berbasis piezoelektrik pada area publik di dua konteks negara/lokasi yang berbeda (studi perbandingan) dengan menggunakan metode tinjauan pustaka sistematis. Tujuan khusus penelitian adalah menilai efektivitas penerapan *piezoelectric floor/step* (dari sisi energi yang dipanen, konfigurasi rangkaian, biaya implementasi awal dan operasi, serta skalabilitas) pada dua studi kasus/negara [1]. Mengeksplorasi potensi adaptasi dan rekomendasi teknis-organisasional untuk penerapan di Indonesia dengan belajar dari pengalaman kedua negara tersebut (pelajaran teknis, model bisnis/pendanaan, dan faktor keberhasilan/kegagalan) [7].

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada kajian literatur teknis dan studi kasus implementasi nyata atau prototipe di fasilitas publik (lantai, anak tangga, keset), termasuk laporan teknis dan tugas akhir yang relevan. Artikel eksperimental yang memaparkan konfigurasi rangkaian, data pengujian keluaran, estimasi energi potensial, dan analisis biaya akan menjadi sumber utama kajian untuk memfasilitasi perbandingan sistematis [7], [8]. Kontribusi penelitian ini adalah menyusun rangkuman bukti empiris dan ringkasan faktor penentu keberhasilan (teknis, ekonomi, dan operasional) untuk penerapan *piezoelectric footstep systems* di area publik, serta menyajikan rekomendasi yang pragmatis dan dapat diuji di lapangan di konteks Indonesia [2].

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) yang disesuaikan untuk kebutuhan studi perbandingan (*comparative analysis*). Metodologi dirancang agar langkah-langkahnya dapat direplikasi oleh peneliti lain dan menghasilkan sintesis yang transparan dan terukur. Metodologi penelitian ini juga bersifat analitis, dengan prinsip-prinsip serupa sistem pendukung keputusan (*Decision Support System*) sebagaimana dijelaskan oleh Daniati[9], yaitu penggunaan model matematis dan algoritma terstruktur untuk membantu proses pengambilan keputusan. Langkah-langkah metodologis adalah sebagai berikut:

### 2.1 Perencanaan kajian (*Planning*)

Pada tahap ini, pertanyaan penelitian dirumuskan agar menjadi fokus utama dalam proses penelusuran dan analisis. Pertanyaan yang diajukan mencakup tiga aspek, yakni: sejauh mana efektivitas teknologi pijakan piezoelektrik dalam menghasilkan energi operasional, faktor teknis maupun non-teknis apa yang memengaruhi keberhasilan atau kegagalannya, serta pelajaran apa

yang dapat diadaptasi untuk penerapan di Indonesia. Selanjutnya, ditetapkan kriteria inklusi yang meliputi dokumen berupa studi eksperimental, laporan tugas akhir, artikel yang menyajikan data teknis mengenai keluaran tegangan atau daya, serta analisis biaya atau studi kasus implementasi pada ruang publik. Sementara itu, dokumen non-teknis seperti opini tanpa data dikecualikan, kecuali jika memberikan konteks penting terkait implementasi [1].

## **2.2 Strategi pencarian (*Search strategy*)**

Strategi pencarian dokumen mengacu pada sumber-sumber yang telah tersedia maupun repositori institusional, prosiding seminar, serta jurnal teknis yang relevan. Koleksi dokumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup lebih dari sepuluh artikel dan laporan yang telah diunggah, sehingga dapat dijadikan basis bukti empiris yang memadai. Kata kunci pencarian antara lain “*piezoelectric floor*”, “*piezoelectric stair*”, “*footstep energy harvesting*”, “*pijakan kaki piezoelektrik*”, “*prototype piezoelectric mat/keset*”, serta istilah terkait konfigurasi rangkaian seperti “*seri*” dan “*paralel*” [5], [8].

## **2.3 Seleksi dokumen (*Screening*)**

Proses seleksi dilakukan melalui dua langkah. Pertama, penyaringan judul dan abstrak untuk memastikan keterkaitan dengan tema penelitian. Kedua, pembacaan penuh teks agar hanya dokumen yang memenuhi kriteria inklusi yang dilibatkan dalam analisis. Pada tahap ini, peneliti menyingkirkan dokumen yang tidak menyajikan data teknis atau hanya berupa deskripsi umum tanpa hasil kuantitatif [1], [8].

## **2.4 Ekstraksi data (*Data extraction*)**

Setiap dokumen yang lolos seleksi diekstraksi menggunakan template khusus. Template ini mencatat identitas dokumen, tujuan penelitian, lokasi penerapan, jenis aplikasi (keset, lantai, atau tangga), jumlah dan jenis piezoelektrik yang digunakan, konfigurasi rangkaian, hasil pengukuran tegangan dan arus, metode penyimpanan energi, estimasi energi tahunan, serta biaya implementasi jika tersedia. Dengan ekstraksi yang terstruktur, perbandingan antar-studi dapat dilakukan secara lebih mudah [7], [8].

## **2.5 Penilaian kualitas studi (*Quality assessment*)**

Setiap dokumen dinilai berdasarkan kejelasan metodologi eksperimen, kelengkapan data numerik, kondisi uji yang digunakan (misalnya beban pijakan, frekuensi langkah), serta keterbukaan dalam perhitungan estimasi energi. Dokumen yang memiliki data terbatas tetap disertakan, tetapi diberikan bobot analisis yang lebih rendah agar tidak mendominasi hasil sintesis [7].

## **2.6 Analisis dan sintesis (*Synthesis and comparative analysis*)**

Data yang telah diekstraksi dirangkum dalam bentuk deskriptif dan tabel komparatif sehingga pola-pola dapat teridentifikasi. Analisis dilakukan dengan membandingkan konfigurasi rangkaian seri dan paralel, pengaruh beban pijakan terhadap tegangan yang dihasilkan, serta efektivitas modifikasi mekanis pada media pijakan. Selain itu, aspek biaya, skalabilitas, dan durabilitas juga diperhitungkan. Untuk memungkinkan perbandingan yang adil, dilakukan normalisasi sederhana seperti menghitung energi per langkah per elemen [2] [5] [8].

## **2.7 Penarikan kesimpulan dan rekomendasi (*Conclusions & recommendations*)**

Dari hasil analisis, ditarik simpulan mengenai efektivitas teknologi piezoelektrik, kelebihan serta keterbatasan tiap pendekatan, dan rekomendasi untuk adaptasi di Indonesia. Kesimpulan ini kemudian dirumuskan agar menjawab langsung pertanyaan penelitian yang telah diajukan di

tahap awal. Selain itu, seluruh proses pencarian, seleksi, hingga ekstraksi data didokumentasikan secara rinci, sehingga penelitian ini dapat direplikasi oleh peneliti lain di masa depan [1] [6].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian ini menyoroti dua dimensi utama penerapan teknologi pijakan kaki berbasis piezoelektrik, yaitu pengalaman implementasi di tingkat global (Inggris dan Jepang) serta hasil penelitian eksperimental maupun prototipe yang telah dilakukan pada skala laboratorium dan publikasi ilmiah di Indonesia.

Di Inggris, penerapan pijakan kaki piezoelektrik identik dengan Pavegen, perusahaan yang sejak 2009 mengembangkan lantai kinetik berbasis mekanisme elektro-mekanis. Teknologi ini tidak hanya mengubah tekanan langkah menjadi listrik skala kecil (hingga 5 watt per langkah pada generasi terbaru), tetapi juga menghadirkan nilai tambah berupa data pergerakan dan interaktivitas publik [10]. Instalasi Pavegen sudah hadir di lebih dari 100 lokasi pada 37 negara, termasuk Olimpiade London 2012, stasiun bawah tanah, pusat perbelanjaan, hingga acara olahraga. Penggunaan sistem ini lebih menonjolkan aspek branding, edukasi, dan *engagement* masyarakat, misalnya untuk menggerakkan lampu LED, layar interaktif, maupun *charging station*.

Sebaliknya, di Jepang pendekatannya lebih menitikberatkan pada pemanfaatan energi dalam skala massal. Ubin piezo dipasang di area publik dengan kepadatan pejalan kaki tinggi, seperti Stasiun Shibuya, Bandara Narita, pusat perbelanjaan, hingga lapangan olahraga. Meski daya per langkah relatif kecil (sekitar 0,1–0,2 W), penerapan massal dengan luasan 25 m<sup>2</sup> mampu menghasilkan hingga 1.400 kW per hari. Keunggulannya terletak pada kontinuitas suplai energi tanpa bergantung cuaca, cocok untuk ruang dalam maupun luar. Tantangan utamanya adalah biaya investasi yang tinggi (sekitar Rp 440 juta untuk delapan ubin) serta ketergantungan pada intensitas lalu lintas pejalan kaki.

Table 1. Tabel Komparatif: Inggris dan Jepang

Negara	Teknologi & Penyedia	Output/ Energi per Langkah	Aplikasi & Keunggulan	Ketebatasan/Tantangan
Inggris	Pavegen (electro-mechanical)	Hingga 5 W per langkah	Instalasi interaktif, data traffic, urban branding, smart city (OX, stasiun, mall) (Wikipedia, pavegen.com)	Biaya investasi dan efektivitas energi perlu dipertimbangkan; output sebenarnya still kecil secara absolut
Jepang	Piezoelektrik (Tipe Piezo)	0,1-0,2 W per langkah, 25 m <sup>2</sup> , 1.400 Kw/hari	Penerangan massal di area public padat (Stasiun, bandara, mal), ramah lingkungan, indoor/outdoor (ISO JEPANG)	Biaya awal sangat tinggi (Rp 440 juta/8 ubin), hanya efektif di lokasi foot traffic tinggi (ISO JEPANG)

Teknologi ini bersifat ramah lingkungan (24/7, bukan tergantung cuaca), dan cocok untuk indoor maupun outdoor. Namun tantangannya adalah biaya pemasangan tinggi ~Rp 440 juta per 8 ubin, serta kebutuhan manusia atau lalu-lintas pejalan yang tinggi agar efektif.

Penelitian-penelitian sebelumnya pada ranah piezoelektrik di Indonesia menunjukkan pola yang konsisten, keluaran energi sangat dipengaruhi oleh tiga aspek, yaitu berat pijakan, konfigurasi

rangkaian, dan modifikasi mekanis. Dari sisi beban, eksperimen pada keset piezo menghasilkan tegangan 2,09–3,57 V untuk bobot 59–65 kg [8], [11]. Konfigurasi seri meningkatkan tegangan hingga lebih dari 16 V, meski arus kecil; sedangkan paralel lebih stabil dalam arus (0,065–0,084 mA pada susunan 6 seri  $\times$  10 paralel) dengan tegangan 7–8 V [11], [12]. Modifikasi mekanis sederhana, seperti penambahan lapisan foam tape, mampu menggandakan keluaran tegangan karena distribusi tekanan lebih merata.

Beberapa prototipe yang diulas dari dokumen terkait juga menggarisbawahi potensi aplikasi kreatif. Keset piezo mampu menyumbang energi simbolik hingga 39,31 kWh per tahun. Tangga piezoelektrik yang dipasang sensor LTC3588 memperlihatkan stabilisasi tegangan sehingga energi bisa lebih mudah disimpan pada baterai. Bahkan inovasi lain seperti pemanfaatan *speed bump* (*RSV-P vibration power plant*) memperlihatkan variasi penggunaan konsep energi kinetik piezoelektrik di luar sekadar pijakan kaki, dengan integrasi sensor dan IoT [13], [14]. Hal ini menegaskan fleksibilitas teknologi piezoelektrik dalam berbagai konteks urban.

Perbedaan orientasi Inggris dan Jepang memberi wawasan penting. Inggris menempatkan teknologi ini sebagai instrumen edukasi, *urban engagement*, dan citra kota cerdas. Jepang menekankan fungsi energi praktis di titik lalu lintas padat, meski biaya pemasangan masih menjadi kendala besar. Dari perspektif teknis, mekanisme Pavegen berbasis elektro-mekanikal lebih kompleks namun interaktif, sedangkan sistem piezo Jepang sederhana namun perlu area luas untuk mencapai kapasitas signifikan.

Implikasi bagi Indonesia adalah perlunya pendekatan bertahap. Proyek percontohan dapat dilakukan di lokasi publik seperti kampus, stasiun, atau pusat belanja. Teknologi hibrida yang menggabungkan keunggulan Pavegen (interaktivitas) dan piezo tradisional (daya skala besar) dapat menjadi opsi. Di sisi ekonomi, analisis ROI berbasis kepadatan pejalan kaki mutlak diperlukan. Sementara itu, integrasi dengan sistem informasi, misalnya visualisasi data jumlah langkah atau energi yang dihasilkan, dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap energi terbarukan sekaligus memberi nilai tambah sosial.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian literatur dan perbandingan implementasi pijakan kaki berbasis piezoelektrik di berbagai konteks, dapat ditarik beberapa poin utama, yakni teknologi piezoelektrik terbukti mampu mengubah energi mekanis langkah manusia menjadi energi listrik meskipun dalam jumlah yang relatif terbatas. Konfigurasi rangkaian, bobot pijakan, serta modifikasi mekanis berperan penting dalam menentukan besar kecilnya keluaran energi. Penerapan pada skala nyata memperlihatkan perbedaan orientasi. Jepang lebih menekankan pada pemanfaatan energi dalam skala massal di area publik dengan kepadatan tinggi, sedangkan Inggris melalui Pavegen mengutamakan aspek interaktivitas, edukasi, serta nilai tambah berupa data pergerakan pengguna. Perbedaan pendekatan ini menunjukkan bahwa efektivitas penerapan tidak hanya bergantung pada teknologi, melainkan juga pada tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan yang ingin dicapai. Potensi implementasi di Indonesia cukup terbuka, terutama di lokasi dengan arus pejalan kaki yang tinggi. Walaupun secara ekonomi masih belum sekompetitif sumber energi terbarukan lain, keberadaan teknologi ini dapat memberikan manfaat edukatif, memperkuat citra ramah lingkungan, serta menjadi pelengkap sumber energi alternatif.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dipertimbangkan. Pertama, penerapan awal di Indonesia sebaiknya dilakukan dalam bentuk proyek percontohan di lokasi strategis seperti kampus, stasiun, atau pusat perbelanjaan. Hal ini bertujuan untuk mengukur efektivitas teknis sekaligus menilai respons masyarakat. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada peningkatan rancangan mekanis dan konfigurasi rangkaian agar keluaran energi lebih optimal. Penelitian tambahan mengenai biaya pemeliharaan dan durabilitas perangkat



juga penting dilakukan agar hasil implementasi dapat berkelanjutan. Keterlibatan publik dalam bentuk kampanye edukasi maupun integrasi dengan sistem informasi (misalnya menampilkan jumlah langkah atau energi yang dihasilkan) dapat meningkatkan nilai sosial dan memperluas penerimaan masyarakat terhadap teknologi ini. Dengan langkah tersebut, pijakan kaki piezoelektrik tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga menjadi sarana membangun kesadaran lingkungan di ruang publik.

## 5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] N. Ketut and S. Rifaldi, "Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Keset Kaki Dengan Metode Energy Harvesting," Aug. 2022. doi: <https://doi.org/10.55893/epsilon.v20i1.85>.
- [2] Rohman, M. Saifur, and A. Supardi, "Lantai piezoelektri sebagai penghasil sumber energi listrik dengan memanfaatkan pijakan kaki," Feb. 2021. Accessed: Aug. 29, 2025. [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/89486>
- [3] Raja Hendry Ade, "Prototipe pemanfaatan piezoelektrik pada pijakan kaki manusia sebagai sumber energi listrik alternatif," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2020.
- [4] Mohamad Al Rajief Ramadan, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Pada Anak Tangga Di Stasiun Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan," Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Jakarta, 2023.
- [5] D. Untuk *et al.*, "SKRIPSI RANCANG BANGUN PROTOTIPE PIEZOELEKTRIK 50 mm TIPE PZT PADA KESET KAKI SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN DENGAN MEMANFAATKAN TEKANAN BERAT BADAN MANUSIA," 2025.
- [6] G. Aryaguna, C. Sidharta, and G. Y. Widiyatmika, "Lomba Karya Tulis Ilmiah EXPECTO 2024 Menju Indonesia Emas 2045: Inovasi Teknologi Piezoelectric di Stasiun Kereta Api Manggarai sebagai Pembangkit Listrik dari Langkah Kaki Manusia," 2024. Accessed: Aug. 29, 2025. [Online]. Available: <http://repository.smakstlouislsby.sch.id/id/eprint/290>
- [7] Mohamad Al Rajief Ramadan, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Pada Anak Tangga Di Stasiun Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan," Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Jakarta, 2023. Accessed: Aug. 30, 2025. [Online]. Available: <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/13810>
- [8] Raja Hendry Ade, "Prototipe pemanfaatan piezoelektrik pada pijakan kaki manusia sebagai sumber energi listrik alternatif," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2020.
- [9] Erna Daniati, "Decision support system to deciding thesis topic," Oct. 2017, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2017.8251843.
- [10] Alvari Kunto Prabowo, "Pavegen Kreasikan Ubin Penghasil Listrik Mandiri dari Langkah Kaki," Espos.id. Accessed: Aug. 30, 2025. [Online]. Available: <https://teknologi.espos.id/pavegen-kreasikan-ubin-penghasil-listrik-mandiri-dari-langkah-kaki-1112642>
- [11] G. Yusran, D. Monika, dan Isdawimah, P. Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, J. Teknik Elektro, and P. D. Negeri Jakarta Jl GA Siwabessy, "Analisis Tegangan Keluaran Piezoelektrik," 2025.

- [12] Khaerina Faiza Soraya, “Perancangan Pada Prototype Human Footstep Power Generation Menggunakan Piezoelektrik,” Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Jakarta, 2023.
- [13] D. Rizqy Rahman, M. Kholiq Iqbal Basith, T. Rachmania Darmawan, and S. Firdaus Mujiyanti, “Kumpulan Karya Tulis Ilmiah Tingkat Nasional 2022 Institut Teknologi Telkom Surabaya RSV-P (ROAD SPEED BUMP’S VIBRATION POWER PLANT): PEMANFAATAN SPEED BUMP SEBAGAI MEDIA KONVERSI GETARAN JALAN MENJADI ENERGI LISTRIK ALTERNATIF EBT BERBASIS IOT,” Oct. 2022. Accessed: Aug. 30, 2025. [Online]. Available: <https://journal.ittelkom-sby.ac.id/lkti/article/view/183>
- [14] N. P. Apriyanto, “Sistem Pemanen Energi Menggunakan Modul LTC3588 pada Implementasi Pembangkit Listrik Berbasis Piezoelektrik di Tangga Bangunan,” 2018.