



Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Rangkaian terhadap Daya Listrik Paving Blok Piezoelektrik

Muhamad Nahrudin Ibad^{1*}, Ferly Isnomo Abdi², Sudirman Rizky Ariyanto³, Lailatus Sa'diyah Yuniar Arifianti⁴

¹ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

²⁻⁴ Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: muhamadibad.22045@mhs.unesa.ac.id

Abstract. *The increasing demand for electrical energy each year and the high dependence on fossil energy, which has negative environmental impacts, necessitate the development of alternative renewable energy sources. One potential source that can be utilized is mechanical energy from human activities through the application of piezoelectric technology in paving blocks. In addition, studies on the effect of piezoelectric circuit configurations, particularly comparisons between series and parallel circuits in generating electrical power, are still limited. This study employed an experimental method using a piezoelectric paving block prototype, with testing conducted under a static load of 60 kg. The measured parameters included output voltage and current, which were then used to calculate the generated power. The experimental results show that the parallel circuit configuration produced a higher average electrical power of 1.51 mW compared to the series circuit, which generated an average power of 1.37 mW. The increase in power in the parallel configuration was mainly influenced by the higher output current, while the difference in voltage was relatively insignificant. These findings contribute to determining a more optimal circuit configuration for the development of piezoelectric paving blocks as a renewable energy harvesting system based on mechanical pressure.*

Keywords: *Electrical Power; Parallel; Paving Blocks; Piezoelectric Technology; Series.*

Abstrak. Meningkatnya kebutuhan energi listrik setiap tahunnya dan tingginya ketergantungan terhadap energi fosil yang berdampak pada lingkungan, sehingga diperlukan pengembangan sumber energi terbarukan alternatif. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan adalah energi mekanik dari aktivitas manusia melalui penerapan teknologi piezoelektrik pada paving blok. Selain itu juga masih terbatasnya kajian mengenai pengaruh konfigurasi rangkaian piezoelektrik, khususnya perbandingan rangkaian seri dan paralel dalam menghasilkan daya listrik. Metode penelitian menggunakan metode eksperimen dengan memanfaatkan prototipe paving blok yang terintegrasi elemen piezoelektrik, di mana pengujian dilakukan menggunakan beban statis sebesar 60 kg. Parameter yang diukur meliputi tegangan dan arus keluaran untuk kemudian dihitung nilai dayanya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian paralel menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 1,51 mW, lebih tinggi dibandingkan rangkaian seri yang menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,37 mW. Peningkatan daya pada rangkaian paralel terutama dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dihasilkan, sementara perbedaan tegangan relatif tidak signifikan. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi dalam menentukan konfigurasi rangkaian yang lebih optimal untuk pengembangan paving blok piezoelektrik sebagai sistem pemanen energi terbarukan berbasis tekanan mekanik.

Kata kunci: Daya Listrik; Paralel; Paving Blok; Seri; Teknologi Piezoelektrik.

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pesatnya perkembangan teknologi. Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok yang berperan penting dalam menunjang aktivitas masyarakat serta pembangunan ekonomi suatu negara (Alnavis et al., 2024). Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa konsumsi listrik per kapita di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Namun, pemenuhan kebutuhan energi listrik nasional masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil, khususnya batu bara, yang menyumbang hampir 60%

kapasitas pembangkit listrik nasional (Silalahi et al., 2024). Ketergantungan terhadap energi fosil ini berdampak negatif terhadap lingkungan akibat meningkatnya emisi karbon dioksida (CO₂) yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan penurunan kualitas udara (Finahari et al., 2007). Selain itu, ketersediaan sumber energi fosil yang terbatas menuntut adanya pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

Pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia hingga saat ini masih tergolong rendah. Pada tahun 2020, kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional hanya mencapai sekitar 4,9% (Silalahi et al., 2024). Kondisi ini masih jauh dari target pemerintah yang menetapkan kontribusi energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Berbagai kendala seperti keterbatasan infrastruktur, investasi, serta rendahnya kesadaran masyarakat menjadi faktor penghambat dalam pengembangan energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang mampu memanfaatkan sumber energi alternatif secara efektif, salah satunya melalui pemanfaatan energi mekanik dari aktivitas manusia.

Paving blok sebagai elemen infrastruktur jalan dapat dimanfaatkan sebagai media integrasi teknologi piezoelektrik. Dengan menyematkan kepingan piezoelektrik di dalam paving blok, energi mekanik dari pijakan pejalan kaki dapat dikonversi menjadi energi listrik terbarukan. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan potensi teknologi ini sebagai sistem pemanen energi (Song et al., 2019). Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu konfigurasi rangkaian, khususnya rangkaian paralel, serta lebih menitikberatkan pada analisis tegangan keluaran. Kajian mengenai pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel terhadap besarnya daya listrik yang dihasilkan masih sangat terbatas (Ekawita et al., 2021).

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh paving blok piezoelektrik. Pengujian dilakukan dengan variasi beban statis sebesar 50 kg, 60 kg, dan 70 kg untuk merepresentasikan tekanan pijakan manusia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam menentukan konfigurasi rangkaian yang paling optimal serta mendukung pengembangan teknologi pemanen energi berbasis piezoelektrik sebagai solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan aplikatif.

2. KAJIAN TEORITIS

Piezoelektrik

Piezoelektrik merupakan fenomena dimana energi listrik dapat dihasilkan dari bahan kristal yang diberikan tekanan mekanis, peristiwa yang berhasil ditemukan oleh Pierre Curie dan Jacques Curie pada tahun 1880 (Mowaviq et al., 2019). Prinsip kerja piezoelektrik didasarkan pada fenomena di mana material kristal yang memiliki struktur non-simetris pusat (*non-centrosymmetric*) akan mengalami perubahan polarisasi listrik ketika dikenai gaya atau tegangan mekanik. Ketika gaya mekanik diberikan selanjutnya akan terjadi deformasi pada struktur material yang berupa kristal yang selanjutnya menghasilkan polaritas internal yang memunculkan energi listrik pada permukaannya (Ahbab et al., 2025), proses tersebut dikenal dengan efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*). Sedangkan sebaliknya, ketika medan listrik dialirkan ke dalam material piezoelektrik akan terjadi getaran atau deformasi mekanis, proses tersebut disebut efek piezoelektrik terbalik (*converse piezoelectric effect*). Energi listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik juga dipengaruhi oleh besaran tekanan mekanis yang diberikan. Umumnya, peningkatan gaya mekanis yang diberikan akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi secara linier, selama deformasi masih berada dalam batas elastis material tersebut (Chen et al., 2022).

Rangkaian Seri

Rangkaian seri merupakan suatu konfigurasi rangkaian listrik di mana seluruh komponen dihubungkan secara berurutan dalam satu jalur tertutup, sehingga arus listrik yang mengalir dari sumber akan melewati setiap komponen secara berurutan tanpa adanya percabangan (Khoirun Nisa et al., 2024). Dalam rangkaian ini, besar arus listrik yang mengalir pada setiap komponen bernilai sama, sedangkan tegangan total sumber akan terbagi pada masing-masing komponen sesuai dengan nilai hambatannya. Fenomena pembagian tegangan ini mengikuti hukum Ohm, yang menyatakan bahwa hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan bersifat linier, sehingga komponen dengan hambatan lebih besar akan mengalami penurunan tegangan yang lebih besar dibandingkan komponen lainnya.

Secara teoritis, karakteristik utama rangkaian seri juga dijelaskan melalui hukum Kirchhoff I dan II. Hukum Kirchhoff II (hukum loop) menyatakan bahwa jumlah aljabar tegangan pada suatu lintasan tertutup adalah nol, yang mengindikasikan bahwa tegangan sumber sama dengan jumlah penurunan tegangan pada seluruh komponen rangkaian. Konsekuensinya, apabila salah satu komponen mengalami kerusakan, terputus, atau tidak berfungsi dengan baik, maka lintasan arus akan terputus sehingga arus listrik tidak dapat

mengalir ke seluruh rangkaian dan sistem secara keseluruhan tidak dapat beroperasi (Desi et al., 2024).

Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel merupakan suatu konfigurasi rangkaian listrik di mana dua atau lebih komponen dihubungkan pada titik-titik yang sama terhadap sumber tegangan, sehingga setiap komponen memiliki jalur arus tersendiri dan memperoleh besar tegangan yang sama (Siti Rochmawati, 2023). Berbeda dengan rangkaian seri, pada rangkaian paralel arus listrik yang mengalir akan terbagi ke masing-masing cabang sesuai dengan nilai hambatan atau impedansi dari tiap komponen. Prinsip ini sesuai dengan hukum Ohm, yang menyatakan bahwa besar arus pada setiap cabang berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan cabang tersebut.

Karakteristik utama rangkaian paralel dapat dijelaskan melalui hukum Kirchhoff I (hukum arus), yang menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk ke suatu titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Dengan demikian, arus total yang mengalir dari sumber merupakan hasil penjumlahan arus pada setiap cabang rangkaian. Konsekuensi dari prinsip ini adalah meningkatnya arus total sistem ketika jumlah cabang rangkaian bertambah, sementara tegangan pada masing-masing komponen tetap konstan. Kondisi ini menjadikan rangkaian paralel lebih stabil terhadap gangguan pada salah satu komponen, karena kerusakan atau terputusnya satu cabang tidak akan menghentikan aliran arus pada cabang lainnya.

Daya Listrik

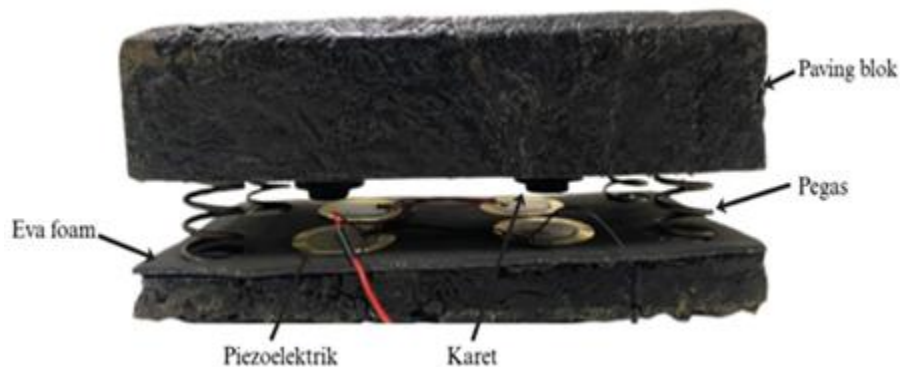
Dalam konteks piezoelektrik, daya listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh seberapa besar gaya atau tekanan mekanik yang diterima material piezoelektrik, dimensi luas dan ketebalan elemen piezoelektrik, serta frekuensi dan amplitudo beban impak yang diterapkan pada sistem tersebut (Ekawita et al., 2021). Daya listrik adalah laju penggunaan atau penyerapan energi listrik dalam suatu rangkaian listrik yang menyatakan berapa banyak energi listrik yang dipakai tiap satuan waktu. Dalam sistem kelistrikan, tegangan (V) dan arus listrik (I) memiliki peran penting sebagai parameter utama dalam menentukan daya listrik (P) yang dihasilkan oleh suatu perangkat pemanen energi, di mana daya listrik dinyatakan sebagai hasil perkalian antara besar tegangan dengan besar arus, yakni $P = V \times I$, sehingga peningkatan tegangan atau arus akan langsung menaikkan daya jika parameter lainnya tetap (haqqu makhabbah, 2018). Pada perangkat piezoelektrik, tegangan keluaran yang tinggi tidak selalu menjamin daya besar jika arus yang mengalir kecil karena impedansi internal atau hambatan eksternal yang signifikan (Ekawita et al., 2021). Sebaliknya, arus tinggi yang diperoleh dari

konversi mekanik ke listrik dapat terhambat oleh tegangan rendah atau ketidakcocokan beban, sehingga daya aktual yang digunakan atau disimpan menjadi jauh di bawah estimasi teoritis (Wijaya et al., 2019).

3. METODE PENELITIAN

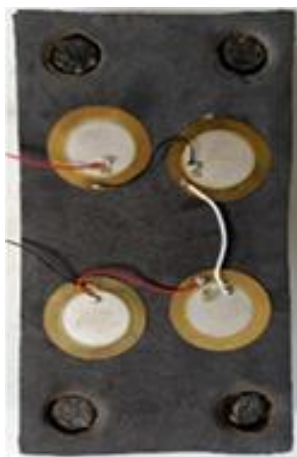
Persiapan

Metode pengujian dimulai dengan menyiapkan paving blok piezoelektrik yang telah terintegrasi dengan kepingan piezoelektrik serta sistem instrumentasi pengukuran.



Gambar 1. Paving Blok Piezoelektrik.

Selanjutnya, piezoelektrik disusun dalam dua variasi konfigurasi rangkaian, yang akan diuji secara terpisah. Penyusunan piezoelektrik secara seri dengan cara menghubungkan kutub positif piezoelektrik pertama dengan kutub negatif piezoelektrik kedua, kutub positif piezoelektrik kedua dihubungkan dengan kutub negatif piezoelektrik ketiga, dan seterusnya.



Gambar 2. Rangkaian Seri.

Sedangkan penyusunan rangkaian piezoelektrik secara paralel disusun dengan cara menggabungkan semua bagian positif piezoelektrik menjadi satu dan juga menghubungkan semua bagian negatif piezoelektrik menjadi satu juga.



Gambar 3. Rangkaian Paralel.

Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan alat gym berjenis *lat pulldown machine* sebagai media pemberian beban statis. Paving blok diletakkan tepat di bawah beban mesin, kemudian beban diangkat lalu diturunkan secara perlahan hingga menyaentuh permukaan paving. Setelah itu beban dilepaskan, sehingga paving menerima tekanan secara langsung dan pegas terdefleksi lalu menekan piezoelektrik. Massa beban yang digunakan sebesar 60 kg, dengan pengujian dilakukan pada konfigurasi rangkaian piezoelektrik seri dan paralel. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali setiap pemberian beban untuk mengetahui pengaruh rangkaian dan berat beban statis terhadap daya listrik yang dihasilkan. Data hasil pengukuran kemudian dicatat dan digunakan untuk menghitung daya listrik sebagai dasar analisis kinerja paving blok piezoelektrik.



Gambar 4. Pengujian Beban 60 Kg.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil pengujian untuk mengevaluasi besaran daya yang dihasilkan dari variasi konfigurasi, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel. Hasil analisis ini digunakan untuk membandingkan kinerja kedua rangkaian serta menilai tingkat besaran daya yang dihasilkan.

Hasil Pengujian Rangkaian Seri

Berikut merupakan data hasil pengujian paving blok piezoelektrik yang dirangkai secara seri dengan pengujian beban 60 kg.

Tabel 1 Hasil Pengujian pada Rangkaian Seri.

	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-Rata
Tegangan	1,58	1,55	1,61	1,58
Arus	0,8	0,9	0,9	0,86
Daya	1,26	1,39	1,45	1,37

Berdasarkan hasil pengujian pada paving blok piezoelektrik dengan rangkaian seri, nilai tegangan rata-rata yang dihasilkan sebesar 1,58 V dengan arus rata-rata 0,86 A, sehingga menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,37 W. Nilai ini menunjukkan bahwa penyusunan piezoelektrik secara seri mampu mempertahankan kestabilan tegangan antar percobaan, meskipun peningkatan arus yang dihasilkan relatif terbatas. Hal ini sesuai dengan karakteristik rangkaian seri yang cenderung meningkatkan tegangan total, sementara arus tetap bergantung pada elemen dengan nilai terkecil dalam rangkaian.

Hasil Pengujian Rangkaian Paralel

Berikut merupakan data hasil pengujian paving blok piezoelektrik yang dirangkai secara paralel dengan pengujian beban 60 kg.

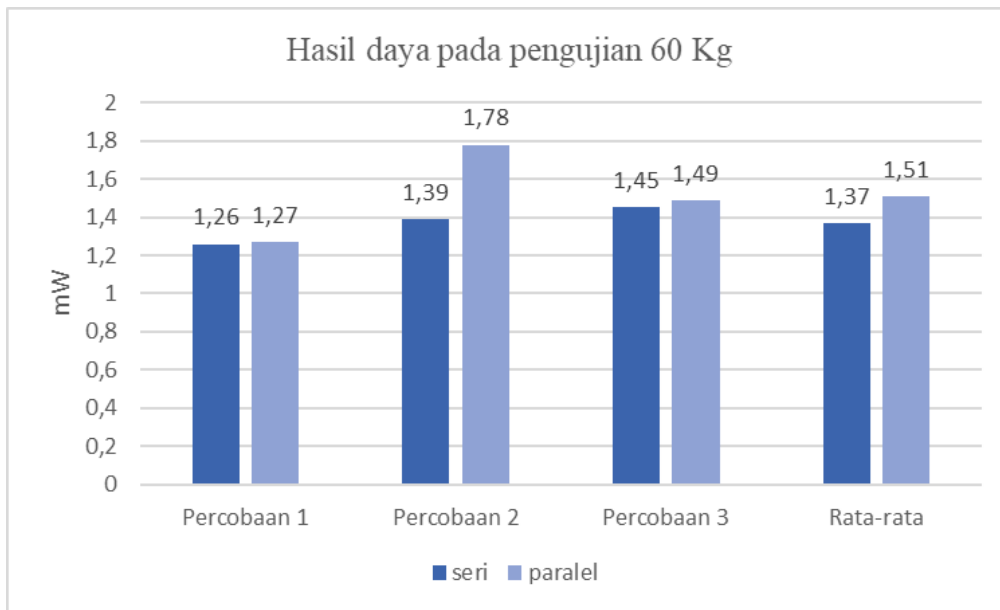
Tabel 2 Hasil Pengujian pada Rangkaian Paralel.

	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-Rata
Tegangan	1,59	1,62	1,66	1,62
Arus	0,8	1,1	0,9	0,93
Daya	1,27	1,78	1,49	1,51

Berdasarkan hasil pengujian pada paving blok piezoelektrik dengan rangkaian paralel, diperoleh tegangan rata-rata sebesar 1,62 V dan arus rata-rata sebesar 0,93 A, yang menghasilkan daya rata-rata lebih tinggi, yaitu 1,51 W. Peningkatan daya ini terutama dipengaruhi oleh kenaikan arus listrik yang dihasilkan pada rangkaian paralel, khususnya pada percobaan kedua yang menunjukkan arus tertinggi sebesar 1,1 A dan daya mencapai 1,78 W. Secara teoritis, rangkaian paralel memungkinkan arus total meningkat karena kontribusi arus dari masing-masing elemen piezoelektrik dijumlahkan, sehingga lebih efektif dalam menghasilkan daya yang lebih besar.

Hasil Perbandingan Konfigurasi Rangkaian

Pembahasan hasil perbandingan daya difokuskan untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel terhadap kemampuan paving blok piezoelektrik dalam menghasilkan daya listrik. Data hasil pengujian yang disajikan dalam bentuk grafik memberikan gambaran kuantitatif mengenai respons masing-masing konfigurasi terhadap kondisi pembebanan yang sama.



Gambar 5. Hasil Perbandingan Daya pada Rangkaian Seri dan Paralel.

Hasil perbandingan daya menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian paralel secara konsisten menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi dibandingkan rangkaian seri pada seluruh variasi percobaan. Pada percobaan pertama, daya yang dihasilkan oleh rangkaian seri sebesar 1,26 mW, sedangkan rangkaian paralel sedikit lebih tinggi, yaitu 1,27 mW. Perbedaan ini relatif kecil dan mengindikasikan bahwa pada kondisi beban awal, kontribusi konfigurasi rangkaian terhadap peningkatan daya belum signifikan. Namun, perbedaan yang lebih jelas mulai terlihat pada percobaan kedua, di mana rangkaian paralel menghasilkan daya maksimum sebesar 1,78 mW, jauh lebih tinggi dibandingkan rangkaian seri yang hanya mencapai 1,39 mW. Pada percobaan ketiga, daya yang dihasilkan oleh rangkaian seri dan paralel masing-masing sebesar 1,45 mW dan 1,49 mW. Meskipun selisih daya pada percobaan ini tidak sebesar percobaan kedua, rangkaian paralel tetap menunjukkan performa yang lebih unggul. Secara keseluruhan, nilai daya rata-rata rangkaian seri tercatat sebesar 1,37 mW, sedangkan rangkaian paralel mencapai 1,51 mW. Peningkatan daya rata-rata ini menegaskan bahwa konfigurasi paralel lebih efektif dalam memanfaatkan energi mekanik dari beban tekan untuk dikonversi menjadi energi listrik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian piezoelektrik berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh paving blok piezoelektrik. Pada pengujian dengan beban statis 60 kg, rangkaian seri menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,37 mW, sedangkan rangkaian paralel menghasilkan daya rata-rata yang lebih tinggi, yaitu 1,51 mW. Peningkatan daya pada rangkaian paralel terutama dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dihasilkan, sementara perbedaan tegangan antara kedua konfigurasi relatif tidak signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa konfigurasi rangkaian paralel lebih efektif dan optimal untuk aplikasi paving blok piezoelektrik yang berorientasi pada pemanenan energi dari tekanan mekanik.

DAFTAR REFERENSI

- Ahbab, N., Naz, S., Xu, T., & Zhang, S. (2025). A comprehensive review of piezoelectric PVDF polymer fabrications and characteristics.
- Ahmad, F., & Harahap, A. (2024). The role of renewable energy in the sustainability of the power sector in Southeast Asia. *Journal of Energy & Sustainability*, 15(3), 203–215. <https://doi.org/10.1234/jes.15.3.203>
- Alnavis, N. B., Wirawan, R. R., Solihah, K. I., & Nugroho, V. H. (2024). Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia. *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*, 1(2), 119–139. <https://doi.org/10.61511/jimese.v1i2.2024.544>
- Chen, M., Zhong, A., Lu, Y., Chen, J., Chen, D., & Wang, J. (2022). A MEMS electrochemical angular accelerometer leveraging silicon-based three-electrode structure. 1–11.
- Desi, Z., Amalia, V., Suni, M., Salman, R., Kartikasari, R. I., Ambarwati, V. D., & Ratnasari, Y. (2024). Biocephy: Journal of Science Education analisis pemahaman konsep rangkaian seri dan paralel melalui praktikum sederhana. 4(2), 599–609. <https://doi.org/10.52562/biocephy.v4i2.1213>
- Ekawita, R., Salam, R. A., Kusumawardani, N., & Yuliza, E. (2021). Pengujian konfigurasi piezoelektrik penghasil tegangan listrik dari energi mekanik. *JoP*, 6(2), 1–6.
- Finahari, I. N., Djati, H., & Susiati, H. (2007). Gas CO₂ dan polutan radioaktif dari PLTU batubara. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 9(1), 1–8. <https://www.neliti.com/id/publications/126146/gas-c02-dan-polutan-radioaktif-dari-pltu-batubara>
- Haqqu Makhabbah, A. I. A. (2018). Rancang bangun sistem monitoring konsumsi daya listrik dan pemutus daya otomatis berbasis internet. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 5(1), 86–96.
- Khoirun Nisa, F., Aulia Rahmadanti, D., Rohmatun Khasanah, Y., Aura Nabela, Y., Aqila Nisa, S., Dwi Pratiwi, J., Ratnasari, Y., & Sederhana Rangkaian Seri Rangkaian Paralel Listrik, P. (2024). Analisis pemahaman konsep rangkaian listrik seri dan paralel melalui praktikum sederhana analysis of understanding the concept of series and parallel electrical circuits through simple practicum. *Jurnal Belaindika: Pembelajaran Dan*

Inovasi Pendidikan, 6(2), 107–118.
<https://belaindika.nusaputra.ac.id/indexbelaindika@nusaputra.ac.id>

- Mowaviq, M. I., Junaidi, A., & Purwanto, S. (2019). Lantai permanen energi listrik menggunakan piezoelektrik. *Energi & Kelistrikan*, 10(2), 112–118. <https://doi.org/10.33322/energi.v10i2.219>
- Nurhadi, A., & Setyawan, P. (2025). Technological advancements in energy harvesting from human motion using piezoelectric materials. *International Journal of Energy Research*, 20(1), 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.01.015>
- Silalahi, D. F., Blakers, A., & Cheng, C. (2024). 100% renewable electricity in Indonesia. *Energies*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/en17010003>
- Siti Rochmawati. (2023). Upaya peningkatan prestasi belajar siswa kelas VI dengan model pembelajaran game based learning “quizwhizzer” pada materi rangkaian listrik di uptd SDN Durjan 3 Kokopbangkalan. *JPP*, 9(Vol. 9 No. 1 (2023)), 1–11. <https://jurnal.alhamidiyah.ac.id/index.php/JPP/article/view/293/239>
- Song, G. J., Kim, K.-B., Cho, J. Y., Woo, M. S., Ahn, J. H., Eom, J. H., Ko, S. M., Yang, C. H., Hong, S. Do, Jeong, S. Y., Hwang, W. S., Woo, S. B., Jhun, J. P., Jeon, D. H., & Sung, T. H. (2019). Performance of a speed bump piezoelectric energy harvester for an automatic cellphone charging system. *Applied Energy*, 247, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.040>
- Wijaya, Y. A. C., Zebua, D., Kolago, D. P., & Utama, Y. A. K. (2019). Pengaruh luas permukaan piezoelectric disk terhadap tekanan dan getaran dalam menghasilkan energi listrik. *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 1(1), 54–59. <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2903>