



# ANALISIS PENGARUH VARIASI FREKUENSI DAN JENIS MESIN PRODUKSI TERHADAP OUTPUT ENERGI PADA VIBRATION HARVESTING ENERGY SYSTEM

Angga Dwi Sapruto <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: [angga.22030@mhs.unesa.ac.id](mailto:angga.22030@mhs.unesa.ac.id)

## Abstract

The development of industrial technology has led to a significant increase in electrical energy demand, while mechanical energy in the form of production machine vibrations is still largely wasted and not optimally utilized. Machine vibrations have the potential to be converted into electrical energy through piezoelectric-based vibration energy harvesting technology. This study aims to analyze the effect of vibration frequency variation and types of production machines on the electrical energy output generated by an energy harvesting system. The research objects include pond machines, injection molding machines, and drilling machines with different vibration characteristics. The research method uses a quantitative experimental approach. The energy harvesting system was designed using 35 mm diameter PZT piezoelectric elements connected in series. Vibration characteristics were measured using an accelerometer sensor, while voltage and current were measured using INA219 and ACS712 sensors. Data collection was conducted for 120 seconds on each machine with three repeated tests to obtain accurate and representative data. The data were analyzed using electrical power calculations and presented in tables and graphs. The results show that the pond machine produces the highest electrical energy output with an average voltage of 7.14 V, current of 4.13 mA, and power of 30.66 mW. The injection molding machine produces an average voltage of 4.75 V, current of 2.75 mA, and power of 13.18 mW, while the drilling machine produces the lowest output with 2.45 V voltage, 1.41 mA current, and 3.47 mW power. These results indicate that greater and more stable vibration characteristics lead to higher electrical energy output generated by the vibration harvesting energy system.

**Keywords:** Piezoelectric, Energy Harvesting, Production machines

## Abstrak

Perkembangan teknologi industri menyebabkan peningkatan kebutuhan energi listrik yang signifikan, sementara energi mekanik dalam bentuk getaran mesin produksi masih banyak terbuang dan belum dimanfaatkan secara optimal. Getaran mesin memiliki potensi untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui teknologi *vibration harvesting energy* berbasis piezoelektrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi frekuensi getaran dan jenis mesin produksi terhadap output energi listrik yang dihasilkan oleh sistem pemanen energi. Objek penelitian meliputi mesin pond, mesin injection molding, dan mesin drilling yang memiliki karakteristik getaran berbeda. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental. Sistem pemanen energi dirancang menggunakan elemen piezoelektrik PZT berdiameter 35 mm yang dirangkai seri. Pengukuran karakteristik getaran dilakukan menggunakan sensor accelerometer, sedangkan tegangan dan arus diukur menggunakan sensor INA219 dan ACS712. Pengambilan data dilakukan selama 120 detik pada setiap mesin dengan tiga kali pengujian untuk memperoleh data yang akurat dan representatif. Data dianalisis menggunakan perhitungan daya listrik dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin pond menghasilkan output energi listrik tertinggi dengan nilai rata-rata tegangan 7,14 V, arus 4,13 mA, dan daya 30,66 mW. Mesin injection molding menghasilkan rata-rata tegangan 4,75 V, arus 2,75 mA, dan daya 13,18 mW, sedangkan mesin drilling menghasilkan nilai terendah dengan tegangan 2,45 V, arus 1,41 mA, dan daya 3,47 mW. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar dan stabil karakteristik getaran mesin, semakin besar output energi listrik yang dihasilkan oleh sistem *vibration harvesting energy*.

**Kata kunci:** Piezoelektrik, Harvesting Energy, Mesin produksi



## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat telah membawa dampak signifikan terhadap peningkatan kebutuhan dan pola konsumsi energi, khususnya pada sektor industri. Penggunaan energi konvensional yang masih didominasi oleh sumber daya tak terbarukan seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam menyebabkan konsumsi energi yang tidak efisien serta berkontribusi terhadap meningkatnya pencemaran udara dan kerusakan lingkungan. Kondisi ini menimbulkan dampak negatif tidak hanya terhadap lingkungan, tetapi juga terhadap kesehatan manusia dan keberlanjutan sumber daya energi di masa depan (Solikh & Bramastia, 2024). Oleh karena itu, efisiensi energi menjadi aspek yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri (Pramono, 2024).

Konsep efisiensi energi mencakup berbagai dimensi, antara lain ketersediaan energi, keberlanjutan ekonomi, keberlanjutan lingkungan, dan keberlanjutan teknis. Dalam sistem kelistrikan, analisis daya dan frekuensi getaran menjadi salah satu pendekatan penting untuk memahami tingkat efisiensi serta stabilitas sistem. Analisis tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi potensi permasalahan yang dapat memengaruhi kinerja sistem dan menghambat optimalisasi pemanfaatan energi (Setiaji dkk., 2022).

Di sisi lain, banyak energi yang terbuang dalam proses industri, khususnya energi getaran yang dihasilkan oleh mesin-mesin produksi. Energi getaran ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi listrik baru melalui sistem pemanenan energi (*energy harvesting*). Salah satu peluang pemanfaatan energi getaran yang cukup menjanjikan adalah penerapan sistem *vibration harvesting energy* pada mesin-mesin yang beroperasi secara kontinu, seperti mesin AC, mesin boiler, genset, mesin perkakas, kompresor udara, dan berbagai mesin produksi lainnya (Adhyatma dkk., 2022). Pemanfaatan energi getaran ini diharapkan dapat memberikan dampak positif dengan mengonversi energi terbuang menjadi energi listrik

tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap sumber energi yang telah dimanfaatkan sebelumnya.

Analisis daya dan frekuensi getaran mesin produksi menjadi langkah penting untuk mengetahui, mengidentifikasi, dan mengoptimalkan sumber energi yang dihasilkan. Dengan memahami karakteristik getaran seperti amplitudo dan frekuensi, sistem pemanenan energi dapat dirancang agar bekerja secara lebih efektif dan efisien dalam mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik, sehingga output energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal (Harindah, 2024). Selain itu, analisis ini memungkinkan penentuan titik resonansi, yaitu kondisi ketika getaran mesin mencapai amplitudo maksimum sehingga proses konversi energi dapat berlangsung secara maksimal.

Pemantauan daya dan frekuensi getaran juga berperan penting dalam mendeteksi permasalahan pada mesin produksi, seperti ketidakseimbangan getaran yang dapat menurunkan kinerja sistem pemanenan energi. Dengan demikian, analisis getaran tidak hanya berkontribusi pada peningkatan output energi listrik, tetapi juga mendukung pemeliharaan kondisi mesin produksi secara berkelanjutan dan efisien (Sammer dkk., 2010).

Frekuensi dan daya getaran memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kinerja sistem *vibration harvesting energy*. Variasi frekuensi getaran dan jenis mesin produksi dapat memengaruhi besarnya output energi listrik yang dihasilkan. Frekuensi getaran merujuk pada jumlah siklus getaran yang terjadi dalam satu detik dan umumnya dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz) (Viskos, 2017). Ketika frekuensi getaran mesin mendekati frekuensi resonansi sistem pemanenan energi, amplitudo getaran akan meningkat secara signifikan sehingga memungkinkan konversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi (Akbar & Karimadj, 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin besar energi getaran yang tersedia, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan. Penelitian RHD dan Rifaldi (2022) menunjukkan bahwa variasi beban yang diberikan pada material piezoelektrik menghasilkan



perbedaan tegangan keluaran yang signifikan, yang mengindikasikan adanya hubungan langsung antara tekanan mekanik dan output energi listrik. Penelitian lain oleh Widodo dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa intensitas getaran dan sudut kemiringan alat piezoelektrik berpengaruh terhadap daya keluaran dan efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Meskipun potensi pemanfaatan piezoelektrik sebagai sistem pemanenan energi sangat besar, penerapannya di lingkungan industri, khususnya pada mesin produksi, masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis daya dan frekuensi getaran mesin produksi terhadap output energi listrik yang dihasilkan oleh sistem *vibration harvesting energy*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pemanenan energi yang lebih efisien dan aplikatif, serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan dari sumber energi yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal.

## TINJAUAN PUSTAKA

Energi terbarukan menjadi solusi penting dalam menghadapi peningkatan kebutuhan energi dan keterbatasan sumber energi fosil. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah *energy harvesting*, yaitu proses pemanenan energi dari sumber lingkungan seperti getaran, panas, gelombang radio, dan cahaya untuk dikonversi menjadi energi listrik berdaya rendah (Syahid dkk., 2024; Kholiq, 2012). Sistem ini dinilai ramah lingkungan, berkelanjutan, serta mampu memanfaatkan energi yang sebelumnya terbuang (Desy, 2015; Romadhon & Budiyanto, 2020).

Piezoelektrik merupakan material yang mampu menghasilkan energi listrik ketika diberi tekanan mekanik. Material ini dapat berupa piezoelektrik alami maupun buatan, dengan aplikasi yang telah diterapkan pada berbagai sistem pemanenan energi, termasuk di sektor transportasi dan fasilitas publik. Penerapan piezoelektrik pada sistem nyata menunjukkan bahwa tekanan mekanik dapat dikonversi menjadi energi listrik, meskipun daya yang

dihasilkan masih relatif kecil dan memerlukan optimasi sistem (Ade, 2020; Fajar Kallawa dkk., 2023).

Getaran mekanis merupakan fenomena umum pada mesin produksi dan dapat berasal dari getaran paksa maupun getaran bebas. Parameter utama getaran yang memengaruhi sistem pemanenan energi adalah frekuensi dan amplitudo. Frekuensi getaran berkaitan erat dengan sumber gangguan dan kondisi operasi mesin, sedangkan amplitudo menunjukkan besarnya simpangan getaran yang terjadi. Pemahaman karakteristik getaran ini menjadi dasar penting dalam perancangan sistem *vibration harvesting energy* yang efisien (Qoribullah, 2021; Naibaho dkk., 2021; Hotendok, 2020; Sahar, 2025).

Mesin produksi seperti mesin pond, *injection molding*, dan mesin drilling merupakan sumber getaran mekanis yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Getaran yang dihasilkan selama proses produksi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik apabila dikombinasikan dengan sistem pemanenan energi yang tepat (Mukhtar, 2020; Susanto dkk., 2022; Rahmadi & Zetli, 2022).

Dalam sistem pemanenan energi, daya listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya tegangan, arus, serta faktor daya. Daya listrik dapat diklasifikasikan menjadi daya aktif, reaktif, dan semu, dengan arus listrik yang dapat berupa arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Pemahaman karakteristik daya dan arus listrik sangat penting untuk mengevaluasi kinerja sistem pemanenan energi berbasis getaran (Yansuri dkk., 2023; Zulmi dkk., 2021; Dayana, 2023; Muda, 2017).

Pengukuran karakteristik getaran pada mesin produksi umumnya dilakukan menggunakan *accelerometer*. Sensor ini mampu mendeteksi percepatan, frekuensi, dan amplitudo getaran secara akurat, sehingga berperan penting dalam analisis performa sistem *vibration harvesting* serta diagnosis kondisi mesin (Ounorod dkk., 2017; Nur Sasongko, 2020).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan piezoelektrik sebagai sistem pemanenan energi telah dilakukan pada berbagai aplikasi, seperti

tekanan langkah kaki dan getaran kendaraan. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa konfigurasi rangkaian piezoelektrik, baik seri maupun paralel, memengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan, namun secara umum daya yang diperoleh masih terbatas dan memerlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat diaplikasikan secara luas (Prasetyo & Pradista, 2022; Yusran dkk., 2025; Kiswantono, 2024).

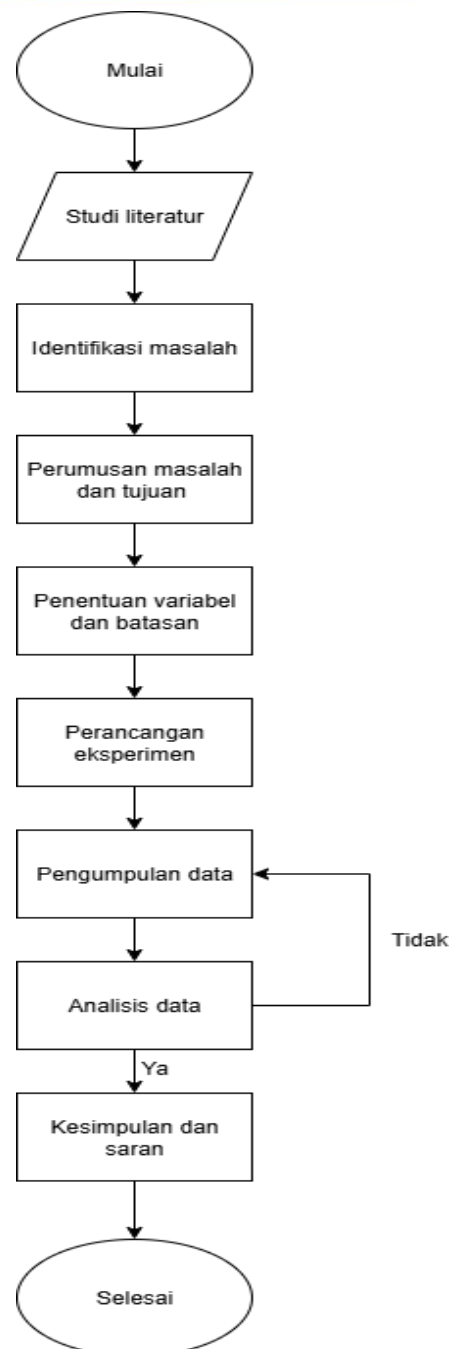
## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental untuk menganalisis kinerja *Vibration Harvesting Energy System* berbasis piezoelektrik pada getaran mesin produksi. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi masalah dan tujuan, penentuan variabel, perancangan eksperimen, pengumpulan data, analisis data, serta penarikan kesimpulan.

Variabel bebas berupa frekuensi getaran dan jenis mesin produksi (mesin pond, injection molding, dan drilling). Variabel terikat adalah output energi listrik yang dihasilkan, meliputi tegangan, arus, dan daya. Variabel kontrol meliputi waktu pengukuran 120 detik, kondisi operasi mesin normal dan stabil, diameter piezoelektrik PZT 35 mm, sensor accelerometer, kecepatan mesin, serta material uji.

Pengambilan data dilakukan pada mesin produksi dengan memasang piezoelektrik yang dirangkai seri sebagai pemanen energi dan sensor accelerometer untuk mengukur frekuensi getaran. Tegangan dan arus keluaran diukur menggunakan sensor INA219 dan ACS712, kemudian diproses menggunakan Arduino Uno. Sinyal keluaran disearahkan melalui rangkaian penyearah dan disimpan pada sistem baterai, serta ditampilkan melalui LCD dan port USB.

Data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dianalisis untuk membandingkan output energi antar jenis mesin serta hubungan antara frekuensi getaran dengan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan sistem.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem *Vibration Harvesting Energy System* berbasis piezoelektrik dilakukan pada tiga jenis mesin produksi, yaitu mesin pond, injection molding, dan drilling. Setiap mesin diuji sebanyak tiga kali dengan waktu pengambilan data 120 detik per pengujian. Parameter yang diukur meliputi tegangan (V), arus (mA), dan daya (mW). Daya dihitung menggunakan persamaan  $P = V \times I$ .



Hasil menunjukkan bahwa setiap mesin memiliki karakteristik keluaran energi yang berbeda, dipengaruhi oleh intensitas dan kestabilan getaran selama proses operasi.

#### Hasil Pengujian Mesin Pond

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Mesin Pond

Percobaan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	7,80	4,20	32,76
2	8,93	5,17	46,17
3	7,02	4,07	28,57
<b>Rata-rata</b>	<b>7,14</b>	<b>4,13</b>	<b>30,66</b>

Mesin pond menghasilkan tegangan dan arus tertinggi dibanding mesin lain. Getaran bersifat lebih kontinu dan memiliki amplitudo lebih besar sehingga deformasi mekanik pada piezoelektrik meningkat dan menghasilkan muatan listrik lebih tinggi. Hal ini menunjukkan mesin pond paling potensial sebagai sumber energi getaran untuk sistem pemanen energi berdaya rendah.

#### Hasil Pengujian Mesin Injection Molding

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Mesin Injection Molding

Percobaan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	4,20	2,43	10,21
2	4,75	2,75	13,06
3	5,30	3,07	16,27
<b>Rata-rata</b>	<b>4,75</b>	<b>2,75</b>	<b>13,18</b>

Keluaran energi pada mesin injection molding meningkat bertahap di setiap percobaan. Getaran cenderung stabil namun amplitudo tidak sebesar mesin pond, sehingga energi yang dihasilkan berada pada tingkat menengah. Sistem masih menunjukkan potensi untuk aplikasi perangkat berdaya rendah dengan kondisi getaran yang relatif konstan.

#### Hasil Pengujian Mesin Drilling

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Mesin Drilling

Percobaan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	2,20	1,27	2,79
2	2,50	1,45	3,63
3	2,65	1,50	3,98
<b>Rata-rata</b>	<b>2,45</b>	<b>1,41</b>	<b>3,47</b>

Mesin drilling menghasilkan nilai tegangan, arus, dan daya paling rendah. Getaran bersifat tidak kontinu dan intensitasnya lebih kecil, sehingga deformasi piezoelektrik terbatas dan energi listrik yang dihasilkan relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan perlunya optimasi sistem jika akan diterapkan pada sumber getaran tipe ini.

#### Hasil Pengukuran Percepatan Getaran

Pengukuran percepatan getaran menggunakan sensor accelerometer menunjukkan perbedaan karakteristik getaran antar mesin.

**Tabel 4.** Jumlah Getaran Mesin Produksi

No	Nama Mesin	Merk	RPM	Waktu (s)	Percepatan Getaran (m/s <sup>2</sup> )
1	Pond	SPK	1140	120	4,60
2	Injection Molding	Kawaguchi	1165	120	1,55
3	Drilling	Supersonic	1420	120	0,98

Percepatan getaran tertinggi terjadi pada mesin pond dan terendah pada mesin drilling. Semakin besar percepatan getaran, semakin besar pula tegangan dan daya rata-rata yang dihasilkan sistem.





## Perbandingan Getaran terhadap Output Energi

**Tabel 5.** Perbandingan Getaran dan Output Energi

Jenis Mesin	Percepatan (m/s <sup>2</sup> )	Tegangan Rata-rata (V)	Arus Rata-rata (mA)	Daya Rata-rata (mW)
Pond	4,60	7,14	4,13	30,66
Injection Molding	1,55	4,75	2,75	13,18
Drilling	0,98	2,45	1,41	3,47

Data menunjukkan hubungan linier-kecenderungan antara percepatan getaran dengan output energi listrik. Mesin dengan percepatan dan kestabilan getaran lebih tinggi menghasilkan tegangan, arus, dan daya lebih besar.

### Pembahasan Utama

Hasil pengujian membuktikan bahwa kinerja sistem *vibration harvesting* sangat dipengaruhi oleh karakteristik getaran sumber. Getaran yang kontinu, stabil, dan beramplitudo besar menghasilkan deformasi piezoelektrik yang lebih signifikan sehingga meningkatkan keluaran listrik. Mesin pond menunjukkan performa terbaik, diikuti injection molding, dan drilling.

Perbedaan keluaran energi antar mesin menegaskan bahwa pemilihan titik sumber getaran dan karakter operasi mesin menjadi faktor kunci dalam implementasi sistem pemanen energi berbasis piezoelektrik. Sistem paling sesuai diterapkan pada mesin dengan getaran stabil dan berulang, khususnya untuk aplikasi energi listrik berdaya rendah.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, sistem *Vibration Harvesting Energy* berbasis piezoelektrik terbukti mampu mengonversi energi getaran mesin produksi menjadi energi listrik. Karakteristik getaran mesin berpengaruh langsung terhadap output listrik yang dihasilkan, dimana getaran dengan amplitudo dan frekuensi lebih tinggi menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang lebih besar. Energi getaran yang sebelumnya terbuang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber

energi alternatif, meskipun masih berada pada skala daya rendah dan lebih sesuai untuk aplikasi perangkat berdaya kecil di lingkungan industri.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi frekuensi getaran berbanding lurus dengan peningkatan output energi listrik hingga kondisi tertentu. Mesin dengan getaran yang lebih stabil dan mendekati karakteristik kerja optimal piezoelektrik menghasilkan keluaran energi yang lebih tinggi dibandingkan mesin dengan getaran rendah atau tidak stabil. Dengan demikian, pemilihan jenis mesin dan karakteristik sumber getaran menjadi faktor kunci dalam menentukan kinerja sistem *Vibration Harvesting Energy*.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Fajar Kallawa, Agus Fikri, & Mohammad Mujirudin. (2023). Pengaruh Rangkaian Seri Dan Paralel Terhadap Tegangan Pada Piezoelektrik. *METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 1(2), 52–57. <https://doi.org/10.22236/metalik.v1i2.11041>
- Ade, R. H. (2020). *Prototipe Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Pijakan Kaki Manusia Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Aura Adhyatma, S., Hakam, M., & Khumaidi, A. (2022). Pemanfaatan Getaran Mesin Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Proceeding 6th Conference on Design and Manufacture Engineering and its Application*.
- Akbar, A., & Karmiadi, D. (2021). Analisis Getaran Pengaruh Variabel Misalignment. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 11(3), 141–150.



- Dayana, I. (2023). *Rangkaian Listrik Untuk Teknik*.
- Desy, E. (2015). Harvesting Energy Panas Matahari Menggunakan Thermoelectric Dan Photovoltaic. *Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 6(1), 63–68.
- Faizin, A. K., Putero, G. A., & Hasan, N. (2025). Studi Eksperimental Karakteristik Redaman Getaran pada Axial Fan. *CERIE*, 5(1), 34–41.
- Fajar, G. S. (2020). Rancang Bangun Alat Monitoring Pemakaian Daya dan Gangguan Listrik Berbasis IoT.
- Harindah, G. (2024). Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran. *Jurnal Sosial Teknologi*, 4(7).
- H.D, N. K., & Rifaldi, S. (2022). Analisis Potensi Energi Listrik Piezoelektrik Metode Energy Harvesting. *EPSILON Journal*, 20(1), 38–49.
- Hoten, H. van, dkk. (2020). *Rekayasa Mesin*.
- Irsyam, M., dkk. (2023). Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah. *Sigma Teknika*, 6(1).
- Jebatu, E. M., dkk. (2024). Analisis RAB dan Energi Listrik Piezoelektrik Beton Pracetak.
- Kholiq, I. (2012). Editorial Board. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1).
- Kiswantono, A. (2024). Inovasi Energi Hijau Piezoelektrik Kendaraan. *JITET*, 12(3).
- Muda, E. I. (2017). Perbandingan Sensor Arus SCT013 dan ACS712.
- Mukhtar, M. N. A. (2020). Productivity Analysis of Ergonomic Chair Operator Pond Machine. *Tibuna Journal*.
- Naibaho, W., dkk. (2021). Analisa Perbandingan Putaran Mesin AC Mobil Terhadap Getaran. *Jurnal MESIL*, 2(1).
- Nur Sasongko, A. (2020). Kendali Kursi Roda dengan Accelerometer. *ALINIER Journal*, 1(2).
- Onuorah, C. A., dkk. (2017). Development of a Vibration Measurement Device Based on MEMS Accelerometer. *VEHITS Proceedings*.
- Pamungkas, I., dkk. (2023). Metode Analisis Risiko Kerusakan Mesin Produksi. *Jurnal Invasi*, 1(1).
- Pramono, S. A. (2024). Peranan Keberlanjutan Energi. *Jurnal Sains dan Teknologi*.
- Prasetyo, D. A., & Pradistia, R. F. (2022). Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Tekanan Anak Tangga. *Emitor*, 22(1).
- Qoribullah, F. (2021). *Getaran Mekanis*.
- Rahmadi, M., & Zetli, S. (2022). Analisis Preventive Maintenance Mesin Drilling. *Jurnal Comasie*.
- Romadhon, H., & Budiyanto, B. (2020). Pemanfaatan Intensitas Radiasi Cahaya sebagai Energy Harvesting. *RESISTOR*, 3(2).
- Sahar, F. (2025). Analisa Karakteristik Getaran Bearing.
- Samnur, Ilham Jaya, & Ridwan D. Mahande. (2010). Analisis Hubungan Getaran



- dengan Temperatur Mesin. *Teknologi*, 11(3).
- Setiaji, N., dkk. (2022). Analisis Konsumsi Daya dan Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Teknologi Industri*, 11(1).
- Siagian, T. (2022). Analisis Kebisingan dan Getaran Mesin Forklift. *Jurnal Al Ulum*, 10(2).
- Solikh, A. A., & Bramastia, B. (2024). Kajian Potensi Energi Baru Terbarukan Indonesia. *JEBT*, 5(1).
- Susanto, M. D., dkk. (2022). Analisis Efektivitas Mesin Injection Moulding. *JUSTI*, 2(3).
- Syahid, M., dkk. (2024). Sosialisasi Energi Terbarukan Tenaga Surya. *Jurnal Tepat*, 7(1).
- Talantan, D. Y. P. (2024). Desain dan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Getar.
- Viskos, T. P. (2017). Pengukuran Frekuensi dan Simpangan Getaran.
- Widodo, W. C., dkk. (2024). Pengaruh Curah Hujan dan Sudut Kemiringan pada Piezoelektrik. *Prosiding UMJ*.
- Winda Rosmayanti. (2022). Analisis Pemeliharaan Mesin Produksi. Universitas Pakuan.
- Yansuri, D. S., dkk. (2023). Efisiensi Penggunaan Daya Listrik Hotel. *Jurnal Ampere*, 8(1).
- Yusran, G., dkk. (2025). Analisis Tegangan Keluaran Piezoelektrik. *Prosiding SNTE*.
- Zulmi, R. A., dkk. (2021). Electrical System Power Factor Improvement Analysis. *Jurnal Sains & Teknologi*, 11(1).