

# Pemanfaatan Guncangan sebagai Sumber Pembangkitan Listrik

Rizki Nurilyas Ahmad<sup>1</sup>, Nafla Fillah Vania<sup>2</sup>, Juwandito Rajendra W<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta; email: [rna924@ums.ac.id](mailto:rna924@ums.ac.id), [D400200091@ums.ac.id](mailto:D400200091@ums.ac.id), [D400200105@ums.ac.id](mailto:D400200105@ums.ac.id)

[Dikirimkan: 09 Januari 2024, Direvisi: 02 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024 ]

Corresponding Author: Rizki Nurilyas Ahmad

**INTISARI** — Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak sejalan dengan ketersediaan sumber energi yang ada di alam, sehingga manusia dituntut untuk terus berinovasi mencari sumber energi alternatif, termasuk juga dengan pemanfaatan energi terbuang dari suatu sistem, yang kemudian energi terbuang tersebut digunakan sebagai sumber energi untuk sistem lainnya. Penelitian mengenai pembangkit listrik portabel dengan sumber energi guncangan ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang terbentuk akibat adanya guncangan seperti ketika bersepeda melalui jalanan yang tidak rata, atau bahkan guncangan pada tas punggung ketika digunakan saat kita berjalan. Teori utama yang mendukung penelitian ini adalah teori Hukum Lenz dan Hukum Faraday. Hukum Lenz membahas mengenai arus akibat ggl induksi yang memiliki arah tertentu. Dalam Hukum Lenz dijelaskan bahwa arus induksi memiliki arah yang selalu menjauhi sumber medan magnet yang memengaruhinya. Pada Hukum Faraday, sumber energi yang dapat diproses untuk menghasilkan perubahan besarnya medan magnet terhadap waktu, berdasarkan pada kedua hukum tersebut, dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Listrik yang dibangkitkan pada penelitian ini masih sangat kecil, namun ada potensi yang perlu untuk dikembangkan lebih lanjut. Pembangkit yang digunakan pada penelitian ini ada dua jenis, pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan yang terhubung seri antar-kumparannya. Pengujian tanpa beban menghasilkan tegangan terbangkit terbesar sebesar 2,07 volt pada frekuensi guncangan 240 BPM pada pembangkit dengan selongsong satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban menghasilkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt, pada selongsong satu kumparan tunggal.

**KATA KUNCI** — Energi alternatif, GGL Induksi, Guncangan, Hukum Faraday, Hukum Lenz, Pembangkit Listrik Portabel.

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber energi yang ada di alam semakin terbatas, sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat seiring berkembangnya kehidupan manusia. Manusia dituntut untuk terus berinovasi mencari sumber energi alternatif. Sumber energi alternatif dapat berasal dari berbagai hal, bahkan bisa jadi berasal dari hal-hal yang sebelumnya tidak terpikirkan oleh kita. Salah satu bentuk pemanfaatan sumber energi alternatif dapat berupa pemanfaatan energi terbuang dari suatu sistem, dan digunakan sebagai sumber energi untuk sistem lainnya. Penelitian mengenai pembangkit listrik portabel dengan sumber energi guncangan ini bertujuan untuk memanfaatkan energi yang terbentuk akibat adanya guncangan seperti ketika bersepeda melalui jalanan yang tidak rata, atau bahkan guncangan pada tas punggung ketika digunakan saat kita berjalan. Tidak terbatas pada dua contoh tersebut, guncangan yang terbentuk secara dua arah dapat dimanfaatkan dalam pembangkitan listrik, dengan memanfaatkan aplikasi sederhana dari Hukum Faraday dan Lenz. Listrik yang terbangkit nantinya dapat dimanfaatkan untuk keperluan-keperluan yang ringan, mengingat sistem yang akan diteliti pada penelitian ini memiliki skala yang kecil (bahkan mikro). Hasil penelitian yang diharapkan adalah data tentang tegangan, arus, serta daya listrik yang terbangkit, dan kemudian data-data tersebut akan dianalisis untuk mengetahui seberapa besar potensinya untuk dapat dikembangkan dan dimanfaatkan lebih jauh lagi.

Perkembangan teknologi mendorong konsumsi energi menjadi lebih besar. Pembangkitan energi listrik dari sumber energi yang terbuang (*waste energy harvesting*) menjadi alternatif yang di masa depan menjadi harapan untuk mewujudkan energi yang bersih dan berkelanjutan [1], [2], [3], [4], teknologi yang menunjang pun sudah mulai dikembangkan [5], [6], [7]. Sumber energi tersebut dapat berasal dari berbagai macam aktivitas, kegiatan, atau fenomena alam, seperti tetes air hujan, aliran air dalam pipa air rumah tangga, pengereman kendaraan, dan lain sebagainya [8], [9], [10], [11], [12]. Berbagai jenis sumber energi tersebut, ketika bisa ditangkap sebagai suatu energi kinetik, dapat dijadikan sebagai sumber energi penggerak turbin pada generator konvensional [13]. Bagaimana suatu energi diolah, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, merupakan pembahasan yang sangat penting. Hal tersebut dikarenakan produk teknologi membutuhkan sumber energi untuk dapat bekerja. Suatu sistem atau peralatan, bekerja dengan membutuhkan energi dan menghasilkan suatu keluaran, apakah itu berupa sinyal, gerakan, dan lain sebagainya, dan seringkali menghasilkan keluaran yang sebenarnya tidak diinginkan atau bisa juga disebut sebagai *losses* atau rugi-rugi. Dalam melakukan aktivitas sehari-hari pun, kita dapat menghasilkan rugi-rugi gerak/mekanis, yang sebenarnya rugi-rugi tersebut dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Guncangan yang dihasilkan dari aktivitas kita seperti saat berjalan, bersepeda, berolahraga, dan lain sebagainya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk membangkitkan listrik, meskipun pada konteks ini, energi listrik yang dapat dibangkitkan masih kecil, sesuai dengan energi yang terdapat pada guncangan tersebut. Permasalahan pada rendahnya daya maupun tegangan yang terbangkit dapat diatasi dengan penggunaan perangkat elektronika daya [14]. Dengan memanfaatkan energi mekanis dari guncangan untuk menghasilkan gerakan magnet mendekati-menjauhi kumparan kawat tembaga, dengan memanfaatkan aplikasi sederhana dari Hukum Faraday dan Lenz, maka energi mekanis dari guncangan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

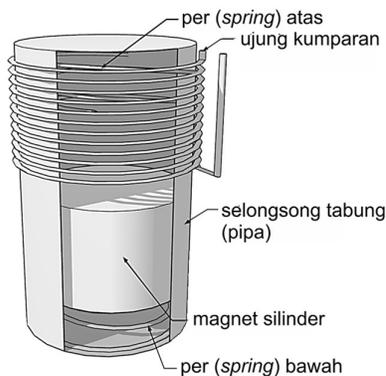
## II. GUNCANGAN SEBAGAI SUMBER ENERGI

Perkembangan teknologi mendorong konsumsi energi menjadi lebih besar. Hal tersebut dikarenakan produk teknologi membutuhkan sumber energi untuk dapat bekerja. Suatu sistem atau peralatan bekerja membutuhkan energi dan menghasilkan suatu keluaran, apakah itu berupa sinyal, gerakan, dan lain sebagainya, dan Hukum Faraday atau Hukum Induksi Faraday menjelaskan mengenai gaya gerak listrik induksi atau disingkat sebagai ggl induksi, yaitu terbangkitnya listrik akibat adanya induksi medan magnet pada konduktor. GGL induksi yang terbangkit merupakan fungsi dari jumlah kumparan konduktor dikalikan dengan perubahan fluks magnet pada kumparan konduktor tersebut. Hukum Faraday tidak menjelaskan secara rinci arah dari arus akibat ggl induksi, penjelasan mengenai hal tersebut dilengkapi pada Hukum Lenz [15]. Hukum Lenz membahas mengenai arus akibat ggl induksi yang memiliki arah tertentu. Dalam Hukum Lenz dijelaskan bahwa arus induksi memiliki arah yang selalu menjauhi sumber medan magnet yang memengaruhinya [16]. Dengan adanya kedua hukum yang saling melengkapi tersebut, maka dapat menjadi dasar analisis pada arah arus listrik bolak-balik (*alternating current / AC*) [17], [18]. Pada pembahasan listrik arus searah (*direct current / DC*) hal tersebut dapat dikesampingkan, dengan penggunaan perangkat penyearah listrik. Pada suatu sistem dengan listrik searah, arah aliran arus listrik dapat diatur menjadi tetap [19].

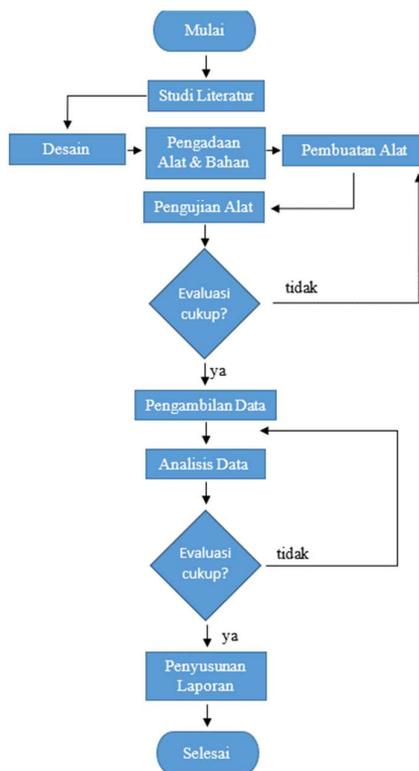
Sumber energi yang dapat diproses untuk menghasilkan perubahan medan magnet, berdasarkan pada kedua hukum tersebut, dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Pembangkit listrik dengan sumber energi dari gerakan mekanis dua arah yang menyerupai guncangan, dapat dilihat pada pemanfaatan gelombang air laut untuk pembangkitan listrik. Pada pembangkit listrik dengan sumber energi gelombang air laut, yang dimanfaatkan adalah gerakan air laut yang naik dan turun [20], sehingga disebut di sini sebagai gerakan mekanis dua arah. Pemanfaatan gelombang air laut ini merupakan contoh pemanfaatan gerakan mekanis dua arah dalam skala yang besar, dapat dibangun dengan sistem pelampung [21], [22] maupun sistem osilasi kolom air (*oscillating water column*) [23], yang mana kedua sistem tersebut sama-sama memanfaatkan gerak naik dan turun air laut. Pemanfaatan gerak mekanis dua arah juga dapat ditemukan pada pembangkit listrik dengan polisi tidur atau *speedbump*. Ketika kendaraan yang lewat melindas *speedbump*, maka *speedbump* akan tertekan ke bawah, dan ketika kendaraan sudah lewat, maka *speedbump* akan kembali pada kondisinya semula [24].

## III. METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan menyiapkan seluruh alat dan bahan yang dibutuhkan. Ketika seluruh alat dan bahan telah siap, maka dapat dimulai proses perakitan alat. Proses perakitan alat sendiri dilakukan secara manual, dengan beberapa alat yang tersedia di laboratorium Teknik Elektro UMS. Proses perakitan alat tidak berhenti hanya sampai alat selesai dirakit, melainkan hingga proses uji coba selesai dilaksanakan. Hal ini dikarenakan, umumnya dalam perakitan alat, ada hal-hal yang sifatnya *trial and error* dan perlu dilakukan beberapa kali penyesuaian.



Gambar 1. Desain pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi dari guncangan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Pengujian alat dilakukan dengan dua kondisi, kondisi pertama yaitu alat terdiri dari satu kumparan besar, dan kondisi kedua yaitu alat terdiri dari 3 kumparan kecil yang terhubung seri. Jumlah total lilitan pada dua kondisi kumparan tersebut adalah sama banyak. Dari kedua kondisi tersebut, data hasil pengujian dicatat dan kemudian dianalisis lebih lanjut. Dari hasil analisis dan evaluasi atas data pengujian, akan diputuskan apakah pengujian sudah cukup ataukah perlu dilakukan penyesuaian alat dan dilakukan ujicoba kembali.

**IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pengujian telah dilakukan dengan beberapa kondisi. Kondisi pembebanan terdiri dari pengukuran tanpa beban dan pengukuran ketika pembangkit dibebani. Pembangkit yang digunakan terdiri dari dua model, yang pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, dan yang kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan yang lebih kecil yang saling terhubung seri. Masing-masing model selongsong tabung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Data hasil penelitian berupa tegangan, arus, dan daya yang terbangkit telah dicatat dan dijabarkan sebagai berikut pada Tabel I dan Tabel II.

TABEL I  
 HASIL PENGUJIAN PEMBANGKIT KUMPARAN TUNGGAL

Frekuensi Guncangan (BPM)	Kondisi		
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
	Tegangan (V)	Tegangan (V)	Daya (mW)
60	0,57	0,5	1,02
90	1,04	0,7	1,97
120	1,39	1,08	4,77
150	1,47	1,18	5,72
180	1,61	1,43	8,4
210	1,55	1,5	9,23
240	2,07	1,64	11,11

TABEL II  
 HASIL PENGUJIAN PEMBANGKIT 3 KUMPARAN TERHUBUNG SERI

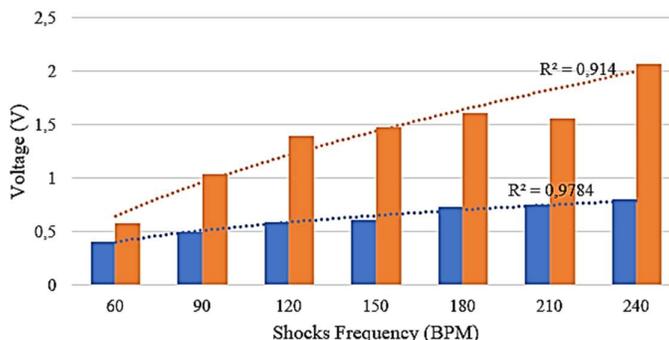
Frekuensi Guncangan (BPM)	Kondisi		
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
	Tegangan (V)	Tegangan (V)	Daya (mW)
60	0,41	-	-
90	0,5	-	-
120	0,59	-	-
150	0,61	-	-
180	0,73	-	-
210	0,75	-	-
240	0,8	-	-



Gambar 3. Selongsong tabung (a) dengan kumparan tunggal dan (b) dengan tiga kumparan yang terhubung seri.

**A. PENGUJIAN TANPA BEBAN**

Pengujian tanpa beban dilakukan pada dua kondisi pembangkit, kondisi pertama yaitu pembangkit dengan satu kumparan besar tunggal, dengan jumlah lilitan sebanyak 180 lilitan dan berlapis sebanyak 4 lapisan, dan kondisi kedua yaitu pembangkit dengan tiga kumparan kecil yang dihubungkan seri, dengan jumlah lilitan sebanyak 60 x 3 dan masing-masing berlapis sebanyak 4 lapisan, sehingga jika dihitung secara total maka jumlah lilitan pada kedua kondisi pembangkit tersebut adalah sama. Magnet yang digunakan pada pembangkit juga disesuaikan dengan jumlah kumparannya, jika pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal menggunakan 12 keping magnet neodimium yang disatukan, maka pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri pada masing-masing kumparan menggunakan 4 magnet neodimium yang disatukan. Pada pengujian tanpa beban terhadap dua pembangkit dengan kondisi tersebut, didapatkan hasil sebagaimana disajikan pada Gambar 4, Voc(s) adalah tegangan terbangkit tanpa beban pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri, dan Voc(t) adalah tegangan terbangkit tanpa beban pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal.



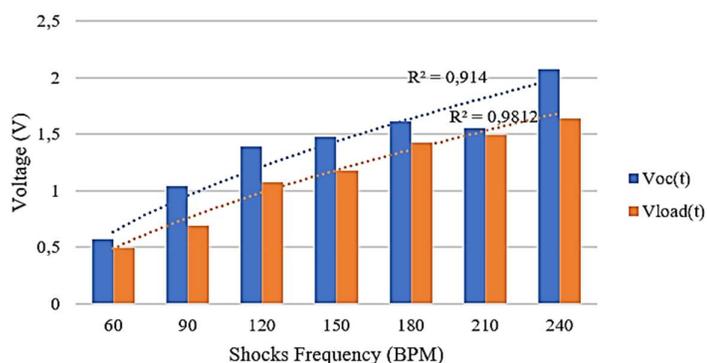
Gambar 4. Tegangan terbangkit (tanpa beban).

Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa tegangan terbangkit pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Selisih tegangan terbangkit tersebut dapat

diakibatkan karena berkurangnya jarak efektif pergerakan magnet pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri, sehingga perubahan besarnya flux magnet terhadap waktu pada masing-masing kumparan berkurang. Selain itu juga dipengaruhi oleh ketidakrataan besarnya flux magnet pada masing-masing keping magnet yang digunakan. Kedua grafik tegangan tersebut menampilkan tren yang mirip, yaitu grafik tidak linier yang semakin landai pada frekuensi guncangan yang semakin tinggi. Hal tersebut diakibatkan oleh berkurangnya jarak efektif pergerakan magnet, secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika magnet memantul pada salah satu sisi, maka untuk mendapatkan perubahan flux magnet yang maksimal magnet tersebut perlu memantul di sisi lainnya. Ketika magnet belum sampai di ujung sisi lainnya, namun arah gerakan selubung pembangkit sudah berbalik, maka jarak maksimal tersebut tidak tercapai, sehingga menyebabkan pembangkitan listrik tidak maksimal. Dari hasil pengukuran, tegangan terbangkit pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal sebesar 2,07 volt, dan pada pembangkit dengan tiga kumparan terhubung seri sebesar 0,798 volt, yang didapatkan pada frekuensi guncangan sebesar 240 BPM (*bit/cycle per minute*).

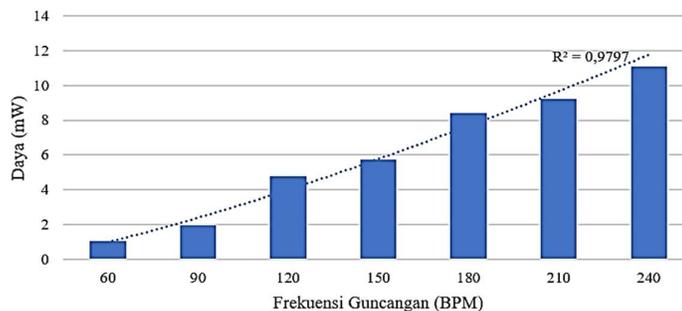
### B. PENGUJIAN DENGAN BEBAN

Dari hasil pengujian tanpa beban, dapat dilihat bahwa potensi pembangkitan listrik pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal lebih besar, sehingga pengujian dengan beban ini hanya dilakukan untuk pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban ini dilakukan dengan memberikan beban berupa resistor sebesar 250 ohm yang disusun dari empat buah resistor 1000 ohm yang dihubungkan secara paralel. Ketika dilakukan pengukuran menggunakan multimeter, nilai resistor tersebut terbaca 242,5 ohm.



Gambar 5. Tegangan terbangkit (dengan beban).

Data hasil pengujian pembangkit ketika diberi beban dapat dilihat pada Gambar 5, Voc(t) merupakan tegangan terbangkit tanpa beban, dan Vload(t) merupakan tegangan pembangkit dengan beban, pada pembangkit dengan satu kumparan tunggal. Rata-rata selisih antara Voc(t) dengan Vload(t) adalah sebesar 0,24 volt. Selisih tegangan ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir ketika pembangkit dibebani. Adanya arus yang mengalir tersebut, menyebabkan muncul rugi-rugi pada konduktor, selain itu karena daya yang terbangkit kecil maka akan menyebabkan penurunan (drop) tegangan pada terminal pembangkit. Data daya terbangkit pada pembangkit tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Daya listrik terbangkit.

Data daya listrik yang terbangkit memperlihatkan bahwa semakin tinggi frekuensi guncangan maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini didapatkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt. Daya terbangkit tersebut masih sangat kecil, namun tren pada grafik daya pada Gambar 6 menunjukkan bahwa ada potensi untuk dapat menghasilkan daya yang lebih besar lagi.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal. Energi akibat guncangan dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkitan listrik. Penggunaan pembangkit dengan satu kumparan tunggal menghasilkan tegangan listrik terbangkit yang lebih besar. Daya listrik yang terbangkit berbanding lurus dengan besarnya frekuensi guncangan. Terjadi penurunan tegangan ketika pembangkit diberi beban. Pemanfaatan energi akibat guncangan sebagai pembangkit listrik dapat bervariasi, tergantung bagaimana proses rekayasa yang dikehendaki. Pengujian tanpa beban menghasilkan tegangan terbangkit terbesar sebesar 2,07 volt pada frekuensi guncangan 240 BPM pada pembangkit dengan selongsong satu kumparan tunggal. Pengujian dengan beban menghasilkan daya terbangkit tertinggi pada saat 240 BPM yaitu sekitar 11,1 mW, dan tegangan terbesar 1,64 volt, pada selongsong satu kumparan tunggal.

Berdasarkan pada beberapa kendala dan pengamatan peneliti dalam penelitian ini, maka dapat disarankan beberapa hal. Proses melilit kumparan tembaga dapat dilakukan dengan lebih rapih dan kencang. Selubung silinder dapat diganti dengan bahan lain yang lebih efektif dalam melewatkan flux magnet dari magnet neodimium menuju ke kumparan. Pembangkit dapat menggunakan magnet dengan flux yang lebih tinggi. Pemberian pelumas untuk meminimalkan gesekan pada komponen yang bergerak/bergesekan. Penggunaan per/spring yang lebih baik agar pergerakan magnet lebih efisien.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dana untuk melaksanakan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini serta kepada tim Jurnal Electron.

## REFERENSI

- [1] K. S. Shibib, H. I. Qatta, and S. I. Younis, "Harvesting Energy by Solar Thermo-Electric Generation in Tropical Regions," *J Phys Conf Ser*, vol. 1973, no. 1, p. 012162, Aug. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1973/1/012162.
- [2] P. Carneiro *et al.*, "Electromagnetic energy harvesting using magnetic levitation architectures: A review," *Appl Energy*, vol. 260, p. 114191, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114191.
- [3] H. Liu, H. Fu, L. Sun, C. Lee, and E. M. Yeatman, "Hybrid energy harvesting technology: From materials, structural design, system integration to applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110473, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110473.
- [4] R. Edwards and C. Gould, "Review on micro-energy harvesting technologies," *Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016*, vol. 2017-January, pp. 1-5, Jul. 2016, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114023.
- [5] 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, p. 115272, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2022.115272.
- [6] T. Sun, B. Zhou, Q. Zheng, L. Wang, W. Jiang, and G. J. Snyder, "Stretchable fabric generates electric power from woven thermoelectric fibers," *Nat Commun*, vol. 11, no. 1, p. 572, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-14399-6.
- [7] C. Li, G. Li, Y. Xin, and B. Li, "Mechanism of a novel mechanically operated contactless HTS energy converter," *Energy*, vol. 241, p. 122832, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122832.
- [8] X. Li *et al.*, "Stimulation of ambient energy generated electric field on crop plant growth," *Nat Food*, vol. 3, no. 2, pp. 133-142, 2022, doi: 10.1038/s43016-021-00449-9.
- [9] S. G. Gembali, A. N. B. Rao, and H. Naresh, "Design and Experimental Analysis of Electro Magnetic Braking System," *Mater Today Proc*, vol. 45, pp. 2833-2839, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.11.806.
- [10] H. Wu, N. Mendel, D. van den Ende, G. Zhou, and F. Mugele, "Energy Harvesting from Drops Impacting onto Charged Surfaces," *Phys Rev Lett*, vol. 125, no. 7, p. 78301, Aug. 2020, doi: 10.1103/PhysRevLett.125.078301.
- [11] R. N. Ahmad, M. Facta, and I. Setiawan, "Electrical generation from waste energy in running water of household plumbing," *AIP Conf Proc*, vol. 2683, no. 1, p. 020012, May 2023, doi: 10.1063/5.0133123.
- [12] R. N. Ahmad, D. L. Hardianto, and A. Abimanyu, "Screw Turbine in In-pipe Hydroelectric Power Generation," *E3S Web Conf.*, vol. 359, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235901003>
- [13] H. Pan, L. Qi, Z. Zhang, and J. Yan, "Kinetic energy harvesting technologies for applications in land transportation: A comprehensive review," *Appl Energy*, vol. 286, p. 116518, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.116518.
- [14] R. N. Ahmad, M. Facta, and I. Setiawan, "Topology and Performance of DC Multi Converter for Multi Mini Hydro-Generator," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 4, Nov. 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i4.4343.
- [15] C. Gertshen, H. O. Kneser, and H. Vogel, *Fisika: Listrik, Magnet, dan Optik*. Jakarta: Pusat Pembinaan dan Pembangunan Bahasa, 1996.
- [16] Mikrajuddin. Abdullah, *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2017.
- [17] H. J. Ha, T. Jang, and S. H. Sohn, "Currents induced in a circular loop by an oscillating magnet," *Phys Educ*, vol. 57, no. 6, p. 065013, 2022, doi: 10.1088/1361-6552/ac8a86.
- [18] L. Xiaozhao, Z. Yang, W. Yuhao, J. Lei, and W. Zhengqi, "Magnetic Field Simulation Analysis of New Type Coil-type Axial Magnetic," in *2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, 2020, pp. 337-340. doi: 10.1109/AEECA49918.2020.9213529.
- [19] R. A. R. TRICKER, "CHAPTER IV - The Logical Status of the Law of Electromagnetic Induction," in *The Contributions of Faraday and Maxwell to Electrical Science*, R. A. R. TRICKER, Ed., Pergamon, 1966, pp. 41-73. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1359-0.50007-6>.
- [20] A. Ismanto *et al.*, "The Potential of Ocean Current as Electrical Power Sources Alternatives in Karimunjawa Islands Indonesia," vol. 4, pp. 126-133, May 2019, doi: 10.25046/aj040615.
- [21] M. Ulum, "Studi Experimental Energi Bangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Model Pelampung Silinder," *Jurnal IPTEK*, vol. 22, no. 1, 2018.

- 
- [22] H. Haryadi and S. Sugianto, "Studi Numerik Gaya Angkat terhadap Pelampung pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2018.
- [23] L. A. Mardiansyah, A. Ismanto, and W. B. Setyawan, "Kajian Potensi Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan Sistem Oscilating Water Column (OWC) Di Perairan Pantai Bengkulu," *J Oceanogr*, vol. 3, no. 3, p. 328337, Aug. 2014.
- [24] A. Suryadi, E. A. Nugroho, and P. T. Asmoro, "Pemanfaatan Speed Bump sebagai Pembangkit Listrik Energi Alternatif," in *Seminar Nasional Teknoka*, Jakarta: Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA), Nov. 2019.