

**ANALISIS NUMERIK PENGARUH KERAPATAN
PIEZOELEKTRIK TERHADAP PERFORMA PEMANENAN
ENERGI GELOMBANG AIR LAUT**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Mesin



OLEH:

IRFAN SATRIO MARDANI

NPM. 2413010080

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI

KEDIRI

2026

Skripsi Oleh:
IRFAN SATRIO MARDANI
NPM. 2413010080

Judul:
**ANALISIS NUMERIK PENGARUH KERAPATAN
PIEZOELEKTRIK TERHADAP PERFORMA PEMANENAN
ENERGI GELOMBANG AIR LAUT**

Telah Disetujui untuk Diajukan kepada Panitia Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Tanggal: 26 Juni 2026

Pembimbing I



Ah. Sulhan Fauzi, S.Si., M.Si.

NIDN. 0703117603

Pembimbing II



Kuni Nadlison, M.Si.

NIDN. 0711058801

Skripsi Oleh:
IRFAN SATRIO MARDANI
NPM. 2413010080

Judul:
**ANALISIS NUMERIK PENGARUH KERAPATAN
PIEZOELEKTRIK TERHADAP PERFORMA PEMANENAN
ENERGI GELOMBANG AIR LAUT**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri
Pada tanggal: 15 Juli 2026

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Persyaratan.

Panitia Penguji:

1. Ketua : Ah. Sulhan Fauzi, M.Si.
2. Penguji I : Fatkur Rhohman, M.Pd., M.T.
3. Penguji II : Kuni Nadliroh, M.Si.



Mengetahui,
Dekan FTIK

Dr. Sulisfiono, M.Si.

NIDN. 0007076801

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : Irfan Satrio Mardani
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat/Tanggal Lahir : Nganjuk, 3 Maret 2000
NPM : 2413010080
Fakultas/Prodi : FTIK Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 26 Juni 2026

Yang menyatakan



IRFAN SATRIO MARDANI

NPM. 2413010080

Moto:
I'll Win.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala kekuasaan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan laporan skripsi dengan segala keterbatasan dan hambatan. Penyusunan laporan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat sebagai bagian dari proses penyusunan laporan ini:

1. Keluarga yang tak pernah lelah mengerahkan segalanya untuk terus memberikan dukungan;
2. Teman satu kampus maupun luar kampus yang selalu terbuka untuk berdiskusi;
3. Dosen pembimbing yang siap memecahkan permasalahan selama penyusunan laporan ini;
4. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan tidak dapat dicapai seorang diri, maka sangat diharapkan kepada pembaca untuk memberikan kritik dan saran yang membangun demi perkembangan penelitian ke depan.

Kediri, 26 Juni 2026



IRFAN SATRIO MARDANI

NPM. 2413010080

RINGKASAN

Penelitian ini menganalisis pemanen energi piezoelektrik (PEH) yang terksitasi oleh tumbukan pendulum di sebuah kapal akibat terinduksi gelombang laut. Penelitian dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan ANSYS Student. Sebanyak 12 piezoelektrik disimulasikan dalam enam variasi kerapatan pemasangan, yaitu horizontal 10 mm (H10), horizontal 20 mm (H20), horizontal 40 mm (H40), vertikal 10 mm (V10), vertikal 20 mm (V20), dan vertikal 40 mm (V40). Performa masing-masing konfigurasi dievaluasi berdasarkan nilai rata-rata tegangan RMS (VRMS). Hasil simulasi menunjukkan bahwa kerapatan piezoelektrik memengaruhi tegangan keluaran, dengan pemasangan jarak antar piezoelektrik yang lebih rapat menghasilkan nilai VRMS yang lebih tinggi. Konfigurasi H10 menghasilkan rata-rata VRMS tertinggi sebesar 24,76 V, sedangkan konfigurasi V40 menghasilkan rata-rata VRMS terendah sebesar 14,19 V. Peningkatan jarak antar piezoelektrik menyebabkan penurunan nilai VRMS, sehingga distribusi piezoelektrik pada daerah dengan regangan tinggi menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi konversi energi. Dengan demikian, konfigurasi H10 merupakan konfigurasi yang paling optimal untuk meningkatkan performa pemanenan energi piezoelektrik pada kondisi simulasi yang digunakan.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR MOTO.....	v
PRAKATA	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
A. Teori	4
1. Energi Terbarukan	4
2. Teknologi Pemanenan Energi Gelombang Laut.....	6
3. Piezoelektrik.....	8
4. Analisis Numerik	12
B. Penelitian Terdahulu.....	14
C. Kerangka Berpikir.....	17
D. Hipotesis.....	17
BAB III METODE PENELITIAN	18
A. Desain Penelitian.....	18
B. Instrumen Penelitian.....	18
C. Objek Penelitian	18
D. Prosedur Penelitian	20
1. Studi Literatur	21

2.	Perancangan Desain	21
3.	Simulasi ANSYS	21
4.	Pengambilan Data	23
5.	Validasi Data	23
6.	Analisis Data dan Pengambilan Kesimpulan	23
E.	Tempat dan Waktu Penelitian	24
F.	Teknik Analisis Data	24
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	25
A.	Hasil Penelitian	25
1.	Simulasi Modal	25
2.	Simulasi Coupled-Field Transient.....	26
B.	Pembahasan.....	31
1.	Simulasi Modal	31
2.	Simulasi Coupled-Field Transient.....	32
BAB V	PENUTUP.....	34
A.	Simpulan	34
B.	Implikasi.....	35
C.	Saran.....	35
	DAFTAR PUSTAKA.....	36
	LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Sumber Energi.....	4
Tabel 2.2 Tabel Teknologi Pemanen Energi Gelombang Laut.....	6
Tabel 2.3 Tabel Sifat-Sifat Material Piezoelektrik	9
Tabel 3.1 Parameter Pelat Aluminium	20
Tabel 3.2 Parameter Pelat Piezoelektrik.....	20
Tabel 3.3 Parameter Mesh.....	21
Tabel 3.4 Waktu Penelitian.....	24
Tabel 4.1 Tabel Nilai Frekuensi Natural	26
Tabel 4.2 Regangan Setiap Variasi	28
Tabel 4.3 Tabel V RMS Konfigurasi Horizontal.....	28
Tabel 4.4 Tabel V RMS Konfigurasi Vertikal	29
Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Tegangan Setiap Konfigurasi.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik Gelombang (The Open University, 2025)	5
Gambar 2.2 <i>Overtopping WEC</i> (Lian dkk., 2024).	7
Gambar 2.3 Skema Kerja OWCWEC (Rosati dkk., 2022).	7
Gambar 2.4 Jenis-Jenis OEPWEC (Lian dkk., 2024).	8
Gambar 2.5 Efek Piezoelektrik (Hadi, 2018).	8
Gambar 2.6 Klasifikasi Material Piezoelektrik (Mangi dkk., 2025).	9
Gambar 2.7 Klasifikasi Sistem Pemanen Energi Piezoelektrik	10
Gambar 2.8 Transduser <i>Cantilever Beam</i>	10
Gambar 2.9 Transduser <i>Circular Diaphragm</i>	11
Gambar 2.10 Transduser <i>Cymbal</i>	11
Gambar 2.11 Transduser <i>Stack</i>	11
Gambar 2.12 Visualisasi <i>Mesh</i> pada FEM	12
Gambar 2.13 Tampilan Awal ANSYS Workbench	14
Gambar 2.14 Skema PDPWEH (Chen dkk., 2021).	15
Gambar 2.15 Skema PWEH (Kim dkk., 2020).	15
Gambar 2.16 Skema <i>Bladed Rotating</i> PEH (Bao & Wang, 2021).	15
Gambar 2.17 Skema L-PWEH (Liu dkk., 2024).	16
Gambar 2.18 Kerangka Berpikir	17
Gambar 3.1 Desain 3D Kapal Pemanen Energi Gelombang	19
Gambar 3.2 Variasi Kerapatan Horizontal. a) H10, b) H20, c) H40	19
Gambar 3.3 Variasi Kerapatan Vertikal. a) V10, b) V20, b) V40	19
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.5 Area Fixed Support	22
Gambar 3.6 Area Voltage Ground	22
Gambar 3.7 Area Voltage Coupling	22
Gambar 3.8 Area Pemberian Gaya	23
Gambar 4.1 Kontur Getaran Pelat	25
Gambar 4.2 Grafik Regangan vs. Waktu Variasi H10	26
Gambar 4.3 Kontur Regangan pada Detik Ke-0,01222	27
Gambar 4.4 Grafik Regangan terhadap Variasi	28

Gambar 4.5 Distribusi Tegangan RMS (V) a) H10, b) H20, c) H40, d) V10, e) V20, f) V40	30
Gambar 4.6 Diagram Garis Perbandingan V RMS Setiap Konfigurasi	30
Gambar 4.7 Diagram Batang Perbandingan V RMS Setiap Konfigurasi	31

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi terbarukan memenuhi 32% energi dunia dan 15% energi Indonesia (IEA, 2024). Sebagai negara dengan perairan luas, Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan sumber tenaga air, mencakup energi arus laut, gelombang laut, pasang-surut, dan panas laut, yang memiliki potensi sebesar 63 GW (A. Kurnia & Fauzia, 2025).

Seiring berkembangnya teknologi sensor pemantauan, kebutuhan sumber daya mandiri di lingkungan laut juga meningkat, salah satunya melalui pemanenan energi gelombang laut. Terdapat tiga mekanisme untuk mengubah energi gelombang menjadi energi listrik, yaitu generator elektromagnetik (EMG), nanogenerator triboelektrik (TENG), dan pemanenan energi piezoelektrik (PEH) (Liu dkk., 2023). Dibandingkan dua mekanisme lainnya, PEH dinilai lebih unggul karena instalasi mudah, efisiensi tinggi, output tegangan tinggi, dan mampu digunakan dalam frekuensi rendah, serta tahan korosi dengan performa konsisten (Zhou dkk., 2022) (Liu dkk., 2023).

Permasalahan utama gelombang laut adalah karakteristiknya yang memiliki frekuensi rendah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, banyak penelitian yang berfokus pada peningkatan performa untuk gelombang berfrekuensi rendah, termasuk meningkatkan frekuensi eksitasi agar PEH dapat bekerja efektif (Wang dkk., 2024).

Chen dkk. meneliti pemanenan energi gelombang piezoelektrik berbasis pick-driven (PDPWEH) dengan menggunakan gir untuk meningkatkan frekuensi dari gelombang (Chen dkk., 2021), Bao dan Wang mengusulkan pemanenan energi piezoelektrik dengan bilah berputar untuk mengumpulkan energi dampak gelombang (Bao & Wang, 2021), Liu dkk mengusulkan pemanenan energi gelombang berfrekuensi rendah (L-PWEH) berbasis segmental beam dan double magnetic excitation (Liu dkk., 2024), sementara Fan dkk melakukan pendekatan impact-driven atau pendulum-driven, yang terbukti mampu mengonversi energi dari frekuensi rendah menjadi frekuensi tumbukan yang tinggi (Fan dkk., 2021).

Meskipun demikian, mekanisme tumbukan menciptakan tegangan lokal tinggi dan ketidaklinieran respons pada struktur, sehingga perlu memperhatikan desain distribusi regangan pada material (Rosso dkk., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa lokasi pemasangan piezoelektrik pada struktur sangat menentukan besarnya energi yang dapat dipanen. Seberapa pun ukuran modul piezoelektrik, selalu ada lokasi optimal di area pelat yang dapat menghasilkan energi maksimal. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan banyak modul piezoelektrik memerlukan strategi penempatan yang tepat, karena respons sistem tidak selalu meningkat hanya dengan menambahkan jumlah piezoelektrik (Piliposian dkk., 2019).

Berbagai penelitian terkait optimasi penempatan piezoelektrik pada struktur pelat telah dilakukan, tetapi masih berfokus pada variasi bentuk modul tunggal dan optimasi topologi untuk satu atau sepasang piezoelektrik (Piliposian dkk., 2020) (Muthalif dkk., 2021). Sementara itu, pendekatan *multi-patch* yang melibatkan banyak piezoelektrik pada satu struktur lebih berfokus pada interaksi antar-patch untuk peredaman getaran, bukan pada pengaruh variasi kerapatannya terhadap performa PEH (Peralta-Braz dkk., 2025).

Studi mengenai efektivitas susunan piezoelektrik dengan variasi kerapatan dan orientasi pemasangan pada struktur pelat belum banyak dikaji. Informasi ini penting untuk menentukan strategi instalasi piezoelektrik yang efisien dari segi jumlah modul yang digunakan (Piliposian dkk., 2019).

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini mengusulkan desain pemanenan energi piezoelektrik yang memanfaatkan gelombang laut untuk menginduksi gerakan bandul yang memukul pelat piezoelektrik. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa analisis numerik pengaruh kerapatan dan orientasi pemasangan 12 modul piezoelektrik terhadap performa pemanenan energi pada pelat aluminium yang dikenai beban impak, dengan memvariasikan posisi dan kerapatan piezoelektrik secara vertikal (10 mm, 20 mm, 40 mm) dan horizontal (10 mm, 20 mm, 40 mm).

B. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- 1) Piezoelektrik berjumlah 12 buah;
- 2) Variasi penelitian: vertikal (10 mm, 20 mm, 40 mm) dan horizontal (10 mm, 20 mm, 40 mm);
- 3) Simulasi dilakukan dengan ANSYS Workbench *Student License*;
- 4) Material pelat menggunakan aluminium 2024;
- 5) Material piezoelektrik menggunakan PZT-5A dengan dimensi 45,7 x 38,1 x 0,5 mm.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kerapatan piezoelektrik terhadap performa pemanenan energi gelombang?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kerapatan piezoelektrik terhadap performa pemanenan energi gelombang.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara langsung maupun tidak langsung. Secara teoritis, diharapkan manfaat yang diperoleh adalah:

- 1) Menambah pengetahuan akademis tentang piezoelektrik,
- 2) Sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya berkaitan tentang teknologi pemanenan gelombang air laut,
- 3) Menambah referensi di bidang energi terbarukan.

Sedangkan secara praktis, diharapkan manfaat yang diperoleh adalah:

- 1) Meningkatkan performa pemanenan energi gelombang berbasis piezoelektrik,
- 2) Memanfaatkan potensi sumber energi yang ramah lingkungan,
- 3) Turut berkontribusi terhadap pengembangan teknologi pada bidang energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS. (2024). *Chapter 5: Analysis Types*.
https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secure/corp/v242/en/wb_sim/ds_simulation_types.html
- Bao, B., & Wang, Q. (2021). Bladeless rotational piezoelectric energy harvester for hydroelectric applications of ultra-low and wide-range flow rates. *Energy Conversion and Management*, 227, 113619.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113619>
- Chen, S.-E., Yang, R.-Y., Qiu, Z.-H., & Wu, C.-C. (2021). A Piezoelectric Wave Energy Harvester Using Plucking-Driven and Frequency Up-Conversion Mechanism. *Energies*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/en14248441>
- Covaci, C., & Gontean, A. (2020). Piezoelectric Energy Harvesting Solutions: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(12), 3512.
<https://doi.org/10.3390/S20123512>
- F. Gerald, C., & Wheatley, patrick O. (2004). *Applied Numerical Analysis* (7 ed.). Pearson/Addison-Wesley.
https://books.google.com/books/about/Applied_Numerical_Analysis.html?id=BiOZQgAACAAJ
- Fan, G., Wang, Y., Tian, F., Hao, M., Wen, Y., Xu, Y., Zeng, F. F., & Lu, W. (2021). Impact-driven piezoelectric energy harvester using a pendulum structure for low-frequency vibration. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 32(17), 1997–2005.
<https://doi.org/10.1177/1045389X20983880/REFERENCES>
- George, A., Cho, I.-H., & Kim, M.-H. (2021). Optimal Design of a U-Shaped Oscillating Water Column Device Using an Artificial Neural Network Model. *Processes*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/pr9081338>
- Hadi, S. (2018). *Teknologi Bahan Lanjut* (E. Kurnia, Ed.). Penerbit Andi.
https://books.google.co.id/books?id=yj9tDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- He, J., & Fan, R. (2022). Structural design of floating bucket wave energy power generation system. *2022 International Conference on Wireless*

- Communications, Electrical Engineering and Automation (WCEEA)*, 29–32.
<https://doi.org/10.1109/WCEEA56458.2022.00015>
- Huebner, K. H., Dewhurst, D. L., Smith, D. E., & Byrom, T. G. (2001). *The Finite Element Method for Engineers* (4 ed.). John Wiley & Sons, Inc.
https://kolegite.com/EE_library/books_and_lectures/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/K.%20H.%20Huebner%2C%20D.%20L.%20Dewhurst%2C%20D.%20E.%20Smith%2C%20T.%20G.%20Byrom%20-%20The%20Finite%20Element%20Method%20for%20Engineers-Wiley%20%282001%29.pdf
- IEA. (2024). *Renewable Energy Progress Tracker – Data Tools - IEA*.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewable-energy-progress-tracker>
- Jain, S. (2019). The current and future perspectives of biofuels. *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy: Construction, Biomedical, and other Industrial Applications*, 495–517. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00021-7>
- Kim, S., Cho, J. Y., Jeon, D. H., Hwang, W., Song, Y., Jeong, S. Y., Jeong, S. W., Yoo, H. H., & Sung, T. H. (2020). Propeller-based Underwater Piezoelectric Energy Harvesting System for an Autonomous IoT Sensor System. *Journal of the Korean Physical Society*, 76(3), 251–256.
<https://doi.org/10.3938/jkps.76.251>
- Kurnia, A., & Fauzia, L. (2025, Agustus 13). *Potensi Energi Laut Indonesia*.
<https://geologi.esdm.go.id/media-center/potensi-energi-laut-indonesia>
- Lian, J., Wang, X., Wang, X., & Wu, D. (2024). Research on Wave Energy Converters. *Energies*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/en17071577>
- Liu, R., He, L., Liu, X., Wang, S., Zhang, L., & Cheng, G. (2023). A review of collecting ocean wave energy based on piezoelectric energy harvester. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 59, 103417.
<https://doi.org/10.1016/J.SETA.2023.103417>
- Liu, R., He, L., Yang, B., Li, X., Zhang, L., & Zhong, F. (2024). A low-frequency piezoelectric wave energy harvester based on segmental beam and double

- magnetic excitation. *Energy*, 302, 131790. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131790>
- Mangi, M. A., Elahi, H., Ali, A., Jabbar, H., Aqeel, A. Bin, Farrukh, A., Bibi, S., Altabey, W. A., Kouritem, S. A., & Noori, M. (2025). Applications of piezoelectric-based sensors, actuators, and energy harvesters. *Sensors and Actuators Reports*, 9, 100302. <https://doi.org/10.1016/J.SNR.2025.100302>
- Muthalif, A. G. A., Ali, A., Renno, J., Wahid, A. N., Nor, K. A. M., & Nordin, N. H. D. (2021). Geometrical Investigation of Piezoelectric Patches for Broadband Energy Harvesting in Non-Deterministic Composite Plates. *Materials* 2021, Vol. 14, Page 7370, 14(23), 7370. <https://doi.org/10.3390/MA14237370>
- Peralta-Braz, P., Alamdari, M. M., Hassan, M., & Atroshchenko, E. (2025). Design of piezoelectric metastructures with multi-patch isogeometric analysis for enhanced energy harvesting and vibration suppression. *Journal of Sound and Vibration*, 619, 119401. <https://doi.org/10.1016/J.JSV.2025.119401>
- Piliposian, G., Hasanyan, A., & Piliposyan, D. (2019). The effect of the location of piezoelectric patches on the sensing, actuating and energy harvesting properties of a composite plate. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(44), 445501. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab37be>
- Piliposian, G., Hasanyan, A., Piliposyan, G., & Jilavyan, H. (2020). On the Sensing, Actuating and Energy Harvesting Properties of a Composite Plate with Piezoelectric Patches. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 2020 7:3, 7(3), 657–668. <https://doi.org/10.1007/S40684-020-00219-1>
- Qin, Y., Xu, Z., Wang, X., & Škare, M. (2022). Green energy adoption and its determinants: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111780. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111780>
- Rosati, M., Henriques, J. C. C., & Ringwood, J. V. (2022). Oscillating-water-column wave energy converters: A critical review of numerical modelling and control. *Energy Conversion and Management: X*, 16, 100322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100322>
- Rosso, M., Nastro, A., Baù, M., Ferrari, M., Ferrari, V., Corigliano, A., & Ardito, R. (2022). Piezoelectric Energy Harvesting from Low-Frequency Vibrations

Based on Magnetic Plucking and Indirect Impacts. *Sensors* 2022, Vol. 22, Page 5911, 22(15), 5911. <https://doi.org/10.3390/S22155911>

The Open University. (2025). *Can renewable energy sources power the world?: Week 7: 1 | OpenLearn - Open University.*
<https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=73764§ion=2>

Tonan, M., Pasetto, A., & Doria, A. (2024). Vibration Energy Harvesting from Plates by Means of Piezoelectric Dynamic Vibration Absorbers. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 402, 14(1), 402.
<https://doi.org/10.3390/APP14010402>

Wang, H., Lv, X., Feng, L., Li, Q., Zhou, H., & He, L. (2024). A Piezoelectric–Electromagnetic Low-Frequency Wave Energy Harvester Based on L-Shaped Beam and Upconversion Mechanism. *Journal of Electronic Materials* 2024 54:2, 54(2), 1455–1466. <https://doi.org/10.1007/S11664-024-11633-5>

Zhou, J., He, L., Liu, L., Yu, G., Gu, X., & Cheng, G. (2022). Design and research of hybrid piezoelectric-electromagnetic energy harvester based on magnetic couple suction-repulsion motion and centrifugal action. *Energy Conversion and Management*, 258, 115504.
<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2022.115504>