

Rancang Bangun Purwarupa *Energy Harvesting* menggunakan Piezoelektrik sebagai Pembangkit Energi Listrik

Kusnandar¹, Ni Ketut Hariyawati Dharmi², dan Aisyah Nurul Khairiyah³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

¹koes_kusnandar@yahoo.com, ²niketuthd@yahoo.com, ³nurul415@gmail.com

Abstrak

Himbauan untuk menggunakan energi bersih dan berkelanjutan sebagai sumber energi alternatif meningkat dengan pesat lebih dari satu dekade terakhir. Hal itu dipicu oleh isu pencemaran lingkungan yang semakin tinggi, jumlah energi tak terbarukan yang terbatas, dan semakin lama semakin berkurang serta menjadi salah satu tujuan dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) 2030. Sesuai prinsip kekekalan energi, energi tidak dapat digunakan sepenuhnya, selalu ada sebagian energi yang terbuang. Teknologi untuk memanfaatkan kembali energi yang “terbuang” tersebut menjadi sumber energi listrik disebut dengan pemanenan energi. Makalah ini menguraikan tentang rancang bangun purwarupa sistem pemanenan energi menggunakan piezoelektrik yang dipasang di lantai dan menghasilkan energi listrik saat mendapat tekanan. Purwarupa sistem tersusun dari deretan 16 piezoelektrik yang dibuat menjadi 4 baris dan dipasang secara paralel. Sistem dilengkapi dengan modul pemanenan energi LTC358 dan modul *step-up booster* MT 3608. Hasil pengujian menunjukkan energi listrik berhasil disimpan dalam baterai. Daya maksimum yang dihasilkan sebesar 3,48 W setelah dilewatkan melalui penyearah gelombang penuh. Untuk jumlah injakan kaki yang sama terhadap deretan piezoelektrik, kenaikan pengisian tegangan baterai Li-Po 150 mAH lebih kecil dibandingkan dengan tipe 250 mAH.

Kata kunci: baterai Li-Po, deretan piezoelektrik, modul LTC358, modul *step up booster* MT 3608.

Abstract

The call to use clean and sustainable energy as an alternative energy source has grown rapidly over the past decade. This was triggered by the issue of increasing environmental pollution, the limited and decreasing amount of non-renewable energy and became one of the goals of the 2030 Sustainable Development Goals (SDG). According to the principle of conservation of energy, energy cannot be fully utilized, there is always some energy wasted. The technology to reuse "wasted" energy into a source of electrical energy is called energy harvesting. This paper describes the design of a prototype energy harvesting system using a floor-mounted piezoelectric that generates electrical energy when stepped on. The system prototype is composed of 16 piezoelectric arrays which are made into 4 rows and installed in parallel. The system is equipped with the LTC358 energy harvester module and the MT 3608 step-up booster module. Test results showed electrical energy was successfully in the battery. The maximum power generated by the piezoelectric array after passing through a full-wave rectifier is 3.48 W. For the same number of footsteps against the piezoelectric array, the increase in charge of the Li-Po 150 mAH battery is smaller than that of the 250 mAH type.

Keywords: Li-Po battery, LTC358 energy harvester module, MT 3608 step up booster module, piezoelectric array

1. Pendahuluan

Himbauan untuk menggunakan energi bersih (*clean energy*) dan berkelanjutan sebagai sumber energi alternatif meningkat dengan pesat lebih dari satu dekade terakhir. Hal itu dipicu oleh isu pencemaran lingkungan yang semakin tinggi (misalnya limbah tenaga nuklir dan emisi bensin) dan jumlah energi tak terbarukan yang terbatas serta semakin lama semakin berkurang seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara (Najmurokhan dkk., 2017; Varadha & Rajakumar, 2018; Niasar *et al.*, 2020). Himbauan tersebut seiring dengan tujuan ke-7 dari SDGs 2030 yang menyatakan “*Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*”. Pemerintah Republik Indonesia melalui Peraturan Pemerintah nomor 79 tahun 2014 mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional yang mendukung pengembangan sumber energi baru dan terbarukan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi.

Menurut prinsip kekekalan energi, energi dapat digunakan tetapi tidak bisa dikonsumsi seluruhnya, dan setelah pemakaian, semuanya berubah menjadi bentuk panas dan menjalar ke ruang angkasa. Selanjutnya ada jenis energi lain seperti getaran dan energi matahari yang biasanya terbuang percuma dalam bentuk energi kinetik dan panas. Energi yang terbuang tersebut sebenarnya memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Dewasa ini, beberapa upaya telah dilakukan untuk memanfaatkan kembali energi yang “terbuang” tersebut menjadi sumber energi listrik. Teknologi pemanfaatan energi seperti itu disebut dengan pemanenan energi (*energy harvesting*) (Akinaga, 2020). Salah satu bentuk pemanenan energi yang aktif dilakukan adalah dengan

Info Makalah:

Dikirim : 10-22-20;
Revisi 1 : 03-25-21;
Revisi 2 : 05-21-21;
Revisi 3 : 06-20-21;
Revisi 4 : 09-15-21;
Diterima : 10-12-21.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-813-1370-4872
e-mail : koes_kusnandar@yahoo.com

memanfaatkan getaran. Konversi energi getaran menjadi energi listrik dilakukan melalui tiga metode populer yaitu elektromagnetik, triboelektrik, dan piezoelektrik (Eghbali *et al.*, 2020). Diantara ketiga metode tersebut, piezoelektrik paling banyak digunakan untuk memanen energi getaran. Namun demikian, masalah efisiensi dan daya yang relatif kecil menjadi tantangan dalam membangun pemanen energi berbasis piezoelektrik (Varadha & Rajakumar, 2018; Eghbali *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam konteks pemanenan energi getaran menggunakan piezoelektrik (Afif & Rini, 2017; Büyükköskün *et al.*, 2019; Nechibvute *et al.*, 2012; Niasar *et al.*, 2020; Pratama dkk., 2015; Xu *et al.*, 2018; Yuliana dkk., 2020; Zebua dkk., 2019). Afif & Rini (2017) membuat purwarupa konverter energi berbasis material piezoelektrik dari polisi tidur di jalan untuk menyalakan lampu penerangan jalan umum, sedangkan Büyükköskün *et al.* (2019) memanfaatkan material piezoelektrik untuk memanen energi angin untuk menghasilkan energi listrik. Nechibvute *et al.* (2012) memanen energi listrik dari bahan piezoelektrik untuk mendukung kerja sensor nirkabel. Pratama dkk. (2015) membuat purwarupa sepatu yang dilengkapi dengan bahan piezoelektrik dan menyimpan energi tekanan dari kaki saat melangkah dalam sebuah kapasitor. Sementara itu, Niasar *et al.* (2020) dan Xu *et al.* (2018) menguraikan potensi penggunaan material piezoelektrik dalam memanen energi di jalan tol. Yuliana dkk. (2020) memanen energi dari kebisingan yang dihasilkan mesin *winder* di sebuah pabrik pemintalan benang dan mengkonversikan menjadi energi listrik menggunakan deretan piezoelektrik, sedangkan purwarupa lainnya berupa konversi energi dari tetes air hujan memanfaatkan material piezoelektrik (Zebua dkk., 2019).

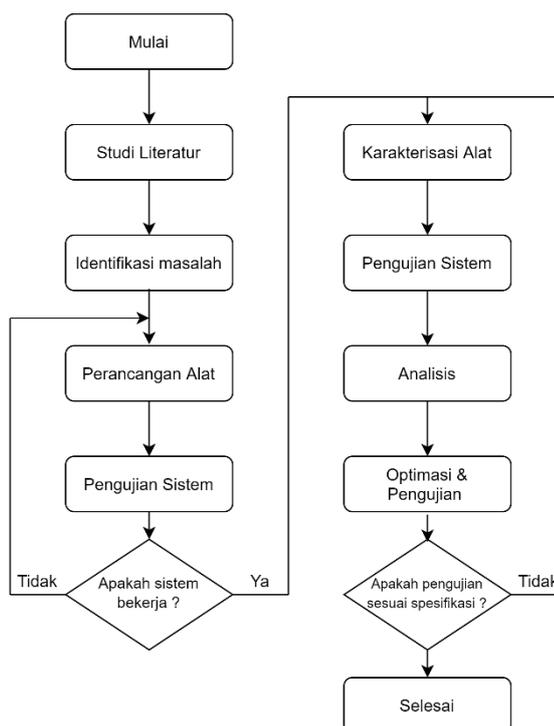
Makalah ini menguraikan tentang purwarupa pemanen energi dari tekanan kaki di atas lantai menggunakan deretan piezoelektrik tipe PZT dan modul LTC358. Purwarupa yang dibuat sangat bermanfaat karena dapat dipasang di setiap lantai rumah dan dengan sendirinya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik untuk rumah tersebut. Purwarupa pemanen energi yang diambil dari gerakan kaki di lantai telah dikembangkan oleh Jintanawan *et al.* (2020) dengan menggunakan teknik elektromagnetik rotasional dalam mengkonversi energi langkah kaki menjadi energi listrik. Sementara itu, penelitian yang diuraikan dalam makalah ini menggunakan deretan piezoelektrik di lantai kemudian dihubungkan dengan modul pemanen energi tipe tertentu sebelum disimpan dalam penyimpanan energi.

Makalah disusun dengan urutan dan pembahasan spesifik. Bagian 1 menguraikan latar belakang dan beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan terkait dengan pemanfaatan piezoelektrik sebagai sumber energi listrik. Selanjutnya, Bagian 2 memuat metode penelitian yang dilakukan dengan uraian tentang diagram skematik, *flowchart*, dan bentuk purwarupa yang dibangun. Sementara itu, hasil dan pembahasan diberikan di bagian 3 yang menguraikan uji coba skala laboratorium dan analisis terhadap data yang diperoleh. Makalah ditutup dengan kesimpulan yang memuat hasil utama yang diperoleh dari pengujian sistem serta rekomendasi penelitian berikutnya untuk menyempurnakan hasil-hasil yang telah didapatkan dalam penelitian.

2. Metode

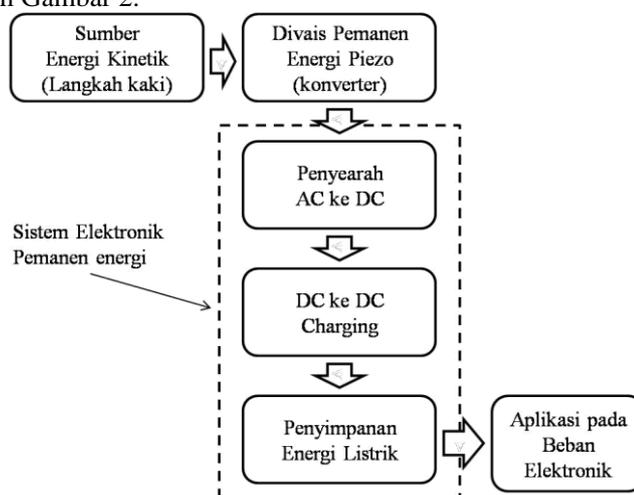
Metode penelitian yang dilakukan diberikan dalam bentuk diagram alir seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam Gambar 1, langkah-langkah penelitian mencakup studi literatur, identifikasi masalah, perancangan alat, perancangan sistem, karakterisasi alat, pengujian sistem, analisis, dan optimisasi serta pengujian. Di tahap awal, studi literatur dilakukan untuk mencari dan mempelajari beberapa referensi tentang konsep *energy harvesting* menggunakan material piezoelektrik dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam pengembangan bahan tersebut sebagai sumber energi listrik. Selanjutnya, identifikasi masalah bertujuan untuk mengenal dan memahami permasalahan dalam memanen energi menggunakan langkah manusia di atas lantai. Permasalahan yang muncul dari perancangan sistem pemanen energi ini meliputi susunan perangkat piezoelektrik yang dipasang pada lantai, menentukan formasi susunan seri atau paralel maupun gabungan kedua formasi tersebut agar menghasilkan daya yang besar, dan menentukan berapa jumlah piezoelektrik yang baik yang dapat menghasilkan energi yang optimum dalam satu lantai.

Di tahap perancangan alat dan sistem dilakukan perancangan formasi perangkat yang optimum dan efisien untuk memecahkan permasalahan yang diperoleh dalam identifikasi masalah. Jika hasil pengukuran besaran listrik tegangan dan arus dalam perancangan ini dapat diperoleh, maka langkah berikutnya berupa karakterisasi dari alat yang dirancang. Dalam karakterisasi alat, pengukuran dan pengujian perangkat piezoelektrik dilakukan dalam kondisi persatuan sel maupun ketika dirangkai secara seri, paralel, atau gabungan kedua formasi seri dan paralel. Pengujian dilakukan untuk memperoleh tegangan yang dihasilkan dari formasi-formasi tersebut. Selanjutnya, analisis dilakukan untuk membandingkan hasil yang diperoleh secara eksperimental dengan teori atau konsep yang ada. Langkah terakhir optimasi dimaksudkan untuk mencari nilai optimum yang sesuai dengan yang diharapkan atau dirancang. Kegiatan-kegiatan yang meliputi langkah ini adalah pengujian secara fisik dari hasil fabrikasi dibandingkan dengan hasil pemodelan perangkat. Pemodelan dilakukan dengan mengasumsikan satu sel piezoelektrik agar memiliki tegangan maksimum dan arus minimum.



Gambar 1. Diagram Alir Metoda Penelitian yang Dilakukan

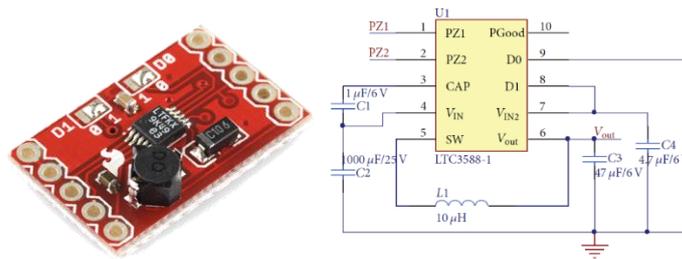
Diagram skematik dan alur transmisi energi dari purwarupa *energy harvesting* yang dibangun dalam penelitian ini diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Skematik Purwarupa *Energy Harvesting*

Sistem yang dikembangkan ini menggunakan sensor piezoelektrik dan memanfaatkan energi kinetik dari hentakan langkah kaki saat berjalan. Saat piezoelektrik menerima energi kinetik, piezoelektrik menghasilkan tegangan AC. Piezoelektrik memiliki kemampuan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Sifat dari piezoelektrik apabila diberikan gaya atau tekanan di atasnya maka akan menghasilkan beda potensial antara kedua sisi permukaan bahan tersebut. Purwarupa yang dibuat dilengkapi dengan sistem penyearah untuk mengubah tegangan AC menjadi DC. Tegangan yang dihasilkan dapat disimpan dalam baterai dengan sistem *charging*. Tegangan yang telah terkumpul pada baterai, bisa digunakan untuk memberikan energi listrik kepada beban, seperti untuk menyalakan lampu.

Dalam sistem pemanen energi, rangkaian pemanen energi merupakan bagian yang sangat penting (Chen *et al.*, 2014). Kinerjanya mempengaruhi secara langsung terhadap efisiensi konversi energi yang dihasilkan. Dalam purwarupa ini, rangkaian pemanen energinya menggunakan LTC3588 yang didalamnya merupakan integrasi antara penyearah gelombang penuh dan *buck converter* berefisiensi tinggi. Gambar 3 memperlihatkan keping LTC3588 dan rangkaian lengkapnya.



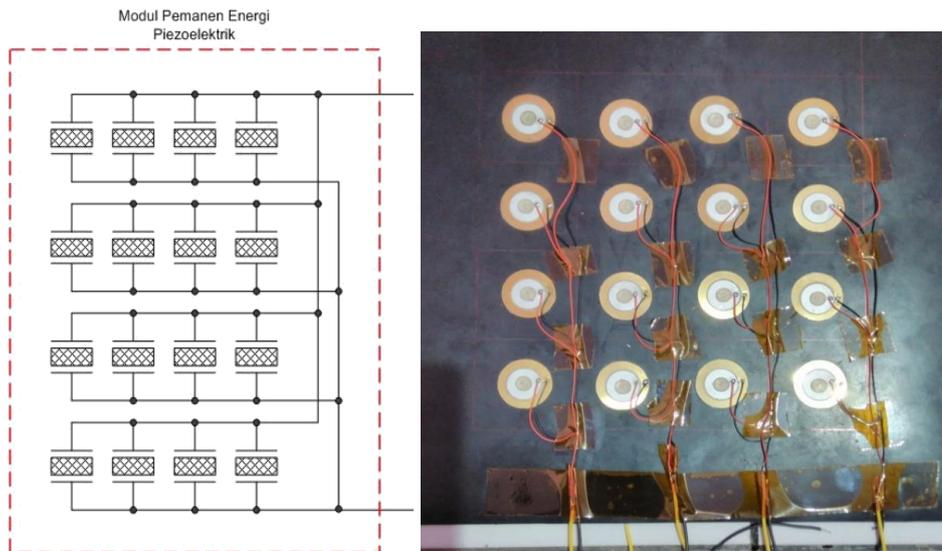
Gambar 3. Keping LTC3588 dan Rangkaian Lengkapnya (Chen *et al.*, 2014)

Komponen lainnya yang juga digunakan dalam purwarupa adalah modul *step up booster*. Modul tersebut berfungsi sebagai pengali atau peningkat tegangan DC. Cara kerja modul ini adalah bila ada tegangan kecil yang masuk, maka modul ini dapat disesuaikan tegangan keluarannya. Jika tegangan keluaran akan digunakan untuk menyalakan lampu DC 12 V, maka modul akan di *setting* 12 V, sehingga jika input yang masuk 2 V akan dapat menyalakan lampu tersebut. Modul ini merupakan modul penaik tegangan dari input 2-24 V menjadi output 5 sampai 28 V DC, menghasilkan arus output maksimum 2 A, dan berdimensi 37×17×6 mm³. Modul yang digunakan bertipe MT 3608 dan bentuknya diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul *Step Up Booster* MT 3608

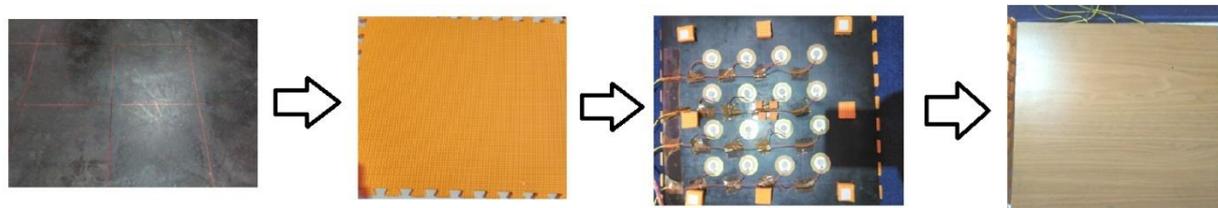
Sementara itu, bentuk skematik dari susunan piezoelektrik yang digunakan dan pemasangannya di lantai diberikan dalam Gambar 5. Dalam purwarupa ini, enam belas keping piezoelektrik dirangkai sedemikian rupa pada lapisan karet tipis ukuran 30 cm × 30 cm dengan jarak yang sama antar keping piezoelektrik dalam karet tersebut.



Gambar 5. Bentuk Skematik Deretan Piezoelektrik dan Pemasangan Di Lantai

Lapisan karet tersebut dipasang pada lantai busa karet, kemudian direkatkan menggunakan *double tip* agar ketika lantai piezoelektrik diinjak tidak bergeser. Untuk menyangga alat yang dibuat, dipasang bantalan berukuran 2

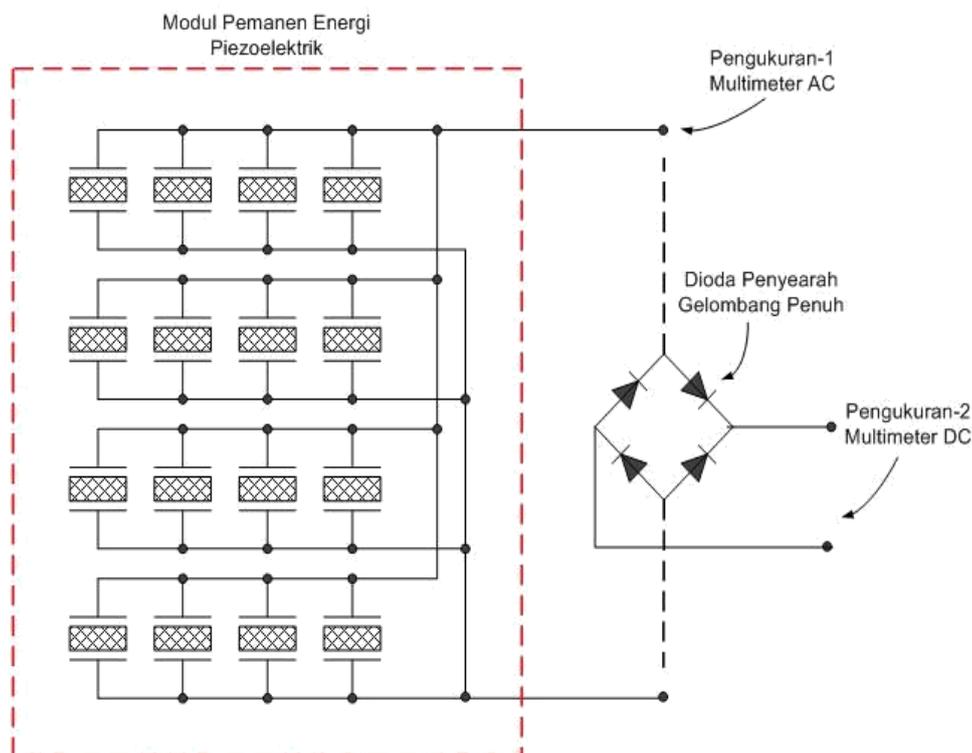
cm × 2 cm pada sisi piezoelektrik. Langkah terakhir adalah pemasangan sebuah papan sebagai tempat pijakan. Urutan proses merealisasikan pemasangan deretan piezoelektrik dalam lantai diberikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Proses Pemasangan Deretan Piezoelektrik Dalam Lantai

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian tahap awal bertujuan untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari modul pemanen energi piezoelektrik yang difabrikasi. Pengujian meliputi pengukuran arus dan tegangan pemanen energi secara langsung dan melalui penyearah *diode bridge* menggunakan multimeter AC dan DC. Pengukuran dilakukan mengikuti skema yang diberikan dalam Gambar 7. Hasil pengukuran tegangan dan arus efektif yang ditandai dengan pengukuran-1 dalam Gambar 6 dan pengukuran tegangan dan arus DC keluaran dari penyearah jembatan yang ditandai dengan pengukuran-2 pada Gambar 7 diberikan pada Tabel 1.



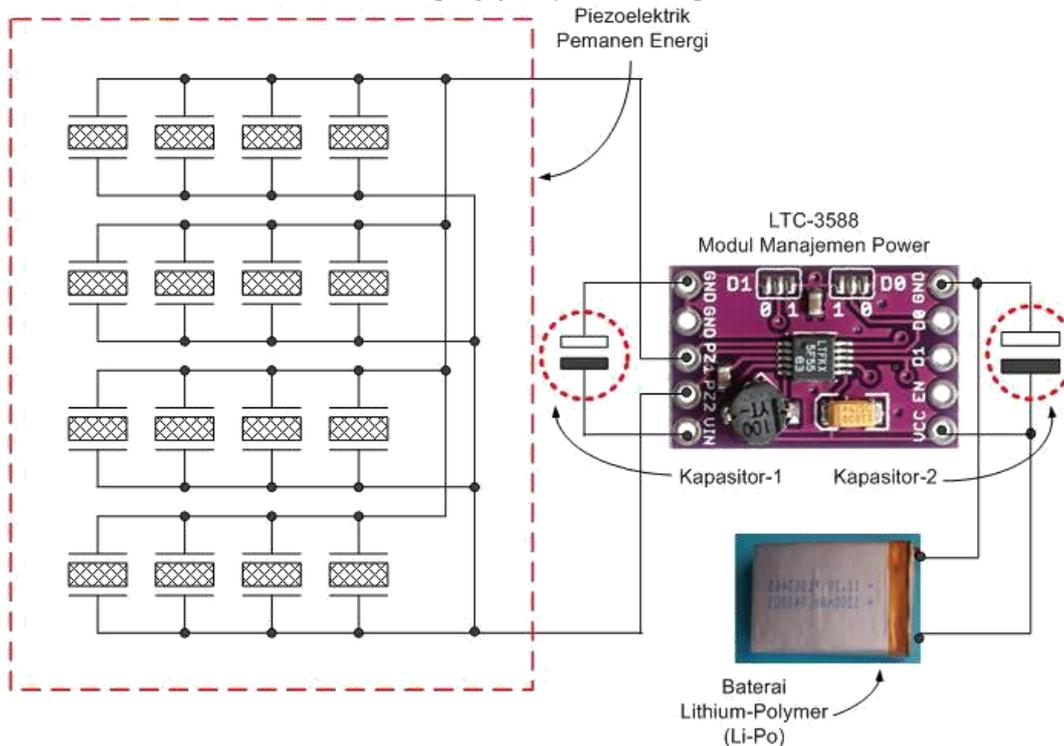
Gambar 7. Skema Pengukuran Tegangan dan Arus yang dihasilkan Deretan Piezoelektrik

Tabel 1. Nilai Tegangan dan Arus AC Efektif yang dihasilkan Piezoelektrik dalam Lima Kali Percobaan Injakan Kaki

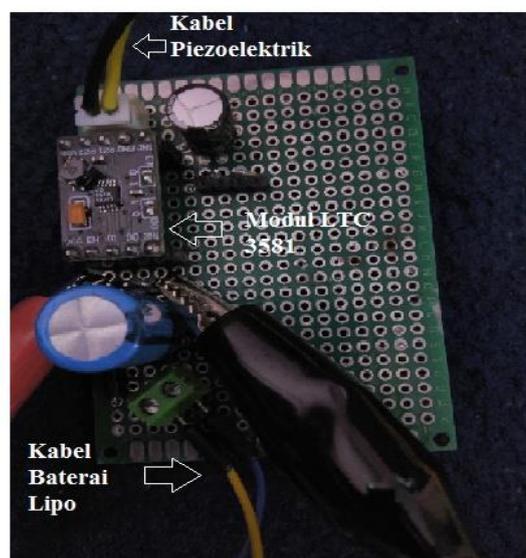
Eksperimen	Pengukuran-1			Pengukuran-2		
	Tegangan efektif (V)	Arus efektif (mA)	Daya aktif (W)	Tegangan DC (V)	Arus DC (mA)	Daya (W)
1	8	50	0,40	10	15	0,15
2	5	25	0,12	15	30	0,45
3	10	70	0,70	24	70	1,68
4	20	125	2,50	30	116	3,48
5	15	90	1,35	28	90	2,52

Hasil karakterisasi dari pemanen energi piezoelektrik ini diperoleh tegangan efektif maksimum mencapai 20 Volt dan arus 125 mA, sehingga diperoleh daya aktif maksimum sebesar 2,5 W untuk pengujian tanpa penyearah. Sedangkan, hasil uji yang diperoleh dengan menggunakan penyearah dioda adalah mencapai 30 V dan arus 116 mA, sehingga daya maksimumnya sebesar 3,48 W. Pada pengujian ini dapat dilihat bahwa tegangan dan arus yang dihasilkan lebih besar pada piezoelektrik yang dipasangkan dioda (DC).

Pengujian berikutnya dilakukan untuk memperoleh data tentang durasi pengisian baterai sebagai penyimpan energi listrik dengan skema rangkaian diperlihatkan pada Gambar 8. Rangkaian tersebut menggunakan kapasitor 2200 $\mu\text{F}/16\text{ V}$ dan 220 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ karena kapasitor ini memiliki waktu pengisian dan pengosongan muatan lebih lama. Hal tersebut diamati saat pengujian terhadap lampu LED kecil. Pengujian ini memasang piezoelektrik dengan kapasitor 220 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ pada kaki V masukan dan *ground* LTC. Sementara kapasitor 2200 $\mu\text{F}/16\text{ V}$ dipasang pada kaki Vcc dan *ground* kaki LTC, kemudian dihubungkan ke dioda dan ke baterai seperti diperlihatkan pada Gambar 8 dan realisasinya diberikan dalam Gambar 9. Sementara itu, hasil pengujiannya diberikan pada Tabel 2.



Gambar 8. Rangkaian Pengisian Baterai Li-Po



Gambar 9. Perangkat Keras Pengisian Baterai Li-Po

Tabel 2. Hasil Pengujian Menggunakan Kapasitor 220 μ F/25 V dan Kapasitor 2200 μ F/16 V

No.	Baterai	Langkah	Tegangan awal (V)	Tegangan akhir (V)	Jumlah tegangan yang naik (V)	Waktu
1.	Li-Po 250 mAH	500	1,355	1,508	0,153	5 menit 26 detik
2.	Li-Po 150 mAH	500	2,541	2,547	0,006	5 menit 12 detik

Pengujian terhadap proses *charging* pada baterai Li-Po 250 mAH menunjukkan tegangan naik 153 mV selama 5 menit 26 detik, sedangkan untuk baterai Li-Po 150 mAH tegangannya naik 6 mV selama 5 menit 12 detik. Dengan asumsi kenaikan tegangan linier terhadap waktu, lama waktu yang diperlukan (t) untuk menaikkan tegangan sebesar 1 V pada baterai Li-Po 250 mAH dapat ditentukan dengan perbandingan mengikuti persamaan (1).

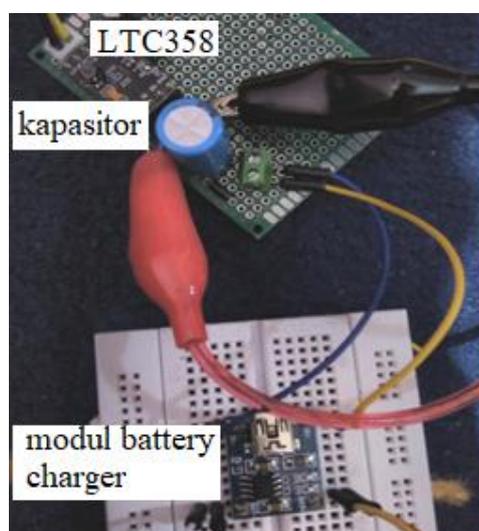
$$\frac{0,153 \text{ V}}{5 \text{ menit } 26 \text{ detik}} = \frac{1 \text{ V}}{t} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), waktu yang diperlukan untuk menaikkan tegangan sebesar 1 V tersebut sebesar 35 menit 51 detik. Sementara itu, durasi waktu (t) untuk mengisi baterai 150 mAH sebesar 1 V dihitung dengan perbandingan mengikuti persamaan (2).

$$\frac{0,006 \text{ V}}{5 \text{ menit } 12 \text{ detik}} = \frac{1 \text{ V}}{t} \quad (2)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (2), durasi waktu (t) sebesar 14 jam 44 menit. Dengan demikian, pengisian baterai Li-Po 250 mAH lebih cepat dibandingkan dengan Li-Po 150 mAH. Namun bila lantai piezo tidak diinjak, maka akan turun terus menerus. Pada baterai Li-Po 150 mAH pengisian lebih lambat. Namun bila lantai piezo tidak diinjak, maka muatan baterai tidak akan turun tetapi bertambah, karena adanya muatan pada kapasitor yang masih menyuplai muatan ke baterai.

Pengujian berikutnya memasang piezoelektrik dengan kapasitor 220 μ F/25 V pada kaki Vin dan *ground* LTC. Sementara kapasitor 2200 μ F/16 V dipasang pada kaki Vcc dan *ground* kaki LTC, kemudian dihubungkan ke dioda dan modul *battery charger* agar pengisian ke baterai lebih cepat. Gambar 10 memperlihatkan instalasi pengujian pengisian baterai dengan kapasitor 2200 μ F/16 V, 220 μ F/25 V dan modul *charging*. Tabel 3 menunjukkan hasil pengisian baterai menggunakan modul *charging*.



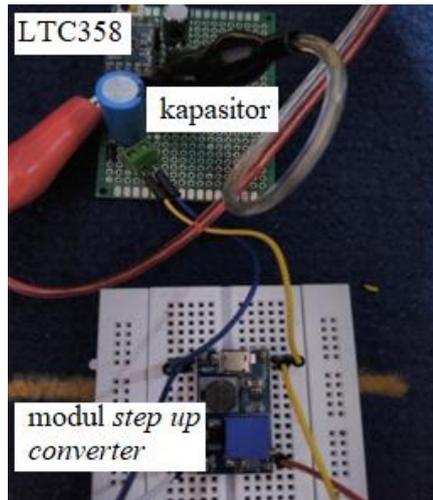
Gambar 10. Instalasi-Pengujian Pengisian Baterai dengan Modul *Battery Charger*

Tabel 3. Hasil Pengisian Baterai Menggunakan Modul *Charging*

No.	Baterai	Langkah	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Waktu
1.	Li-Po 150 mAH	500	2,540	2,541	6 menit 16 detik
2.	Li-Po 250 mAH	500	1,301	1,297	5 menit 7 detik

Hasil pengujian memperlihatkan penggunaan modul *charging* pada pengisian baterai 150 mAH menjadi sangat lambat. Pada baterai 250 mAH terjadi penurunan dan tidak ada perubahan dalam kenaikan muatan baterai.

Pengujian lainnya adalah memasang piezoelektrik dengan kapasitor 220 μ F/25 V pada kaki Vin dan *ground* LTC. Sementara kapasitor 2200 μ F/16 V dipasang pada kaki Vcc dan *ground* kaki LTC, kemudian dihubungkan ke dioda dan modul *step up converter* agar pengisian muatan ke baterai lebih cepat dibanding menggunakan modul *charging* seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada Tabel 4.



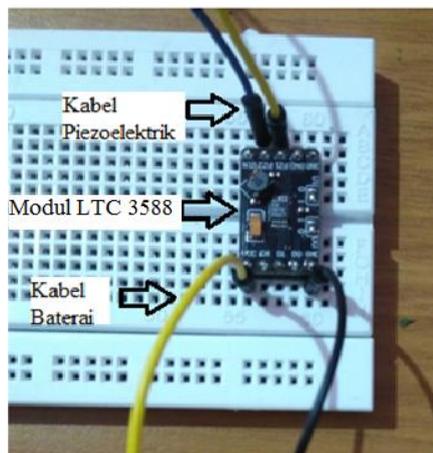
Gambar 11. Instalasi Pengujian Pengisian Baterai dengan Modul *Step Up Converter*

Tabel 4. Hasil Pengujian Piezoelektrik dengan Kapasitor 220 μ F/25 V

No.	Baterai	Langkah	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Waktu
1.	Li-Po 150 mAH	500	2,517	2,522	5 menit 20 detik
2.	Li-Po 250 mAH	500	1,302	1,268	5 menit 7 detik

Dari hasil yang didapat baterai 150 mAH terdapat kenaikan muatan sebesar 5 mV pada 500 langkah selama 5 menit 20 detik, tetapi ketika lantai piezo tidak diinjak, muatan pada baterai menurun sedikit demi sedikit. Hal ini disebabkan tidak terjadinya proses konversi energi saat lantai dengan bahan piezoelektrik tidak diinjak. Sementara pada baterai 250 mAH tidak terjadi kenaikan dan terjadi penurunan pada baterai karena kapasitasnya relatif besar sehingga masih mampu menyimpan energi listrik meskipun tidak terjadi proses pengisian.

Pengujian selanjutnya menggunakan piezoelektrik, modul LTC358-1 dan baterai tanpa kapasitor. Kabel piezoelektrik ini dipasang pada kaki PZ1 dan PZ2 pada modul LTC. Kemudian baterai dipasang ke kaki VCC dan *ground* pada modul LTC. Rangkaian diperlihatkan pada Gambar 12 dan hasil pengujiannya diberikan pada Tabel 5.



Gambar 12. Instalasi Pengujian dengan Modul LTC tanpa Kapasitor

Tabel 5. Hasil Pengisian Tegangan Baterai Menggunakan Modul LTC tanpa Menggunakan Kapasitor

No.	Baterai	Langkah	Tegangan awal (V)	Tegangan akhir (V)	Waktu
1.	Lion 2200 mAH	500	2,627	2,630	5 menit
2.	Li-Po 150 mAH	500	2,514	2,524	5 menit
3.	Li-Po 250 mAH	500	1,089	1,188	5 menit

Dari hasil pengujian untuk baterai Lion 220 mAH lama dalam pengisiannya, dikarenakan memiliki arus yang besar. Arus yang besar tersebut mengakibatkan pengisian menjadi lama, karena arus yang dihasilkan piezoelektrik 0-116 μ A, sehingga tidak mampu mengisi baterai dengan cepat. Jika lantai piezoelektrik tidak diinjak, maka muatan tidak turun. Pada pengisian baterai Li-Po 150 mAH mampu mengisi baterai 10mV dalam waktu 5 menit. Jika lantai

piezoelektrik tidak diinjak, muatan baterai tidak berubah menjadi turun. Sementara baterai Li-Po 250 mAH mengalami penurunan muatan drastis ketika lantai piezoelektrik tidak diinjak. Durasi waktu (t) untuk mengisi muatan baterai 150 mAH sebanyak 1 V ditentukan dengan persamaan (3).

$$\frac{0,010 \text{ V}}{5 \text{ menit}} = \frac{1 \text{ V}}{t} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan (3), nilai t adalah 8 jam 33 menit. Dengan demikian, untuk mengisi baterai Li-Po 150 mAH sebanyak 1 V diperlukan waktu 8 jam 33 menit.

Pengujian berikutnya menggunakan piezoelektrik, modul LTC358-1, baterai, serta diinjak oleh orang dengan berat badan bervariasi. Kabel piezoelektrik ini dipasang pada kaki PZ1 dan PZ2 pada modul LTC, kemudian baterai dipasang ke kaki VCC dan GND pada modul LTC. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 13 dan tabel pengujiannya diberikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengisian Tegangan Baterai Li-Po 150 mAH berdasarkan berat badan

No.	Berat badan (kg)	Langkah	Tegangan awal (V)	Tegangan akhir (V)	Waktu	Kenaikan tegangan baterai (mV)
1.	73 kg	500	2,514	2,524	5 menit 20 detik	10
2.	56 kg	500	2,883	2,891	3 menit 50 detik	8
3.	43 kg	500	2,894	2,900	4 menit 50 detik	6
4.	57 kg	500	2,902	2,910	4 menit 53 detik	8

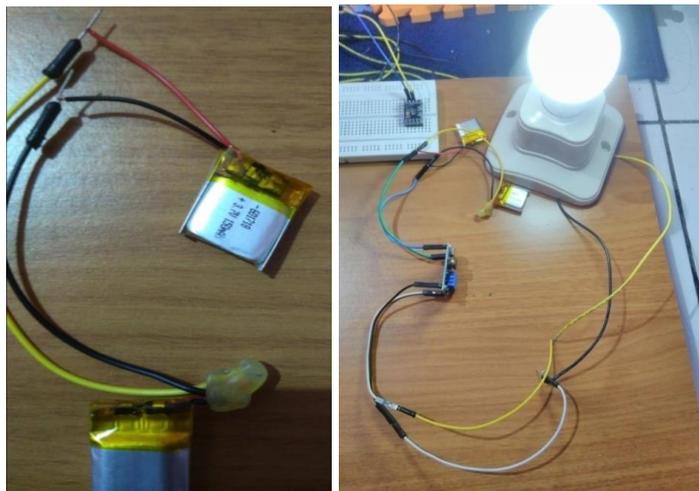
Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa naiknya muatan baterai dipengaruhi oleh bobot badan yang menginjaknya. Naiknya tegangan pada baterai juga dapat dipengaruhi dari tekanan yang diberikan terhadap piezoelektrik. Jika tekanan yang diterima besar maka muatan yang terisi pada baterai juga besar.

Pengujian berikutnya dilakukan untuk menyalakan lampu menggunakan baterai Li-Po 150 mAH dan modul *step up* MT3608. Agar lampu dapat menyala, maka modul *step up* disetting pada keluarannya untuk 12 V. Kabel positif baterai dihubungkan dengan kaki V+ kaki modul *step up* MT3608 dan kaki negatif baterai dihubungkan dengan kaki V- kaki modul *step up* MT3608. Sementara, kabel positif lampu dihubungkan dengan kaki *out+* kaki modul *step up* MT3608 dan kabel negatif lampu dihubungkan dengan kaki *out-* kaki modul *step up* MT3608. Pengujian purwarupa *energy harvesting* dengan beban Lampu DC 12 V/3 W diberikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian Purwarupa *Energy Harvesting* dengan Beban Lampu DC 12 V/3 W

Saat menggunakan satu baterai untuk menyalakan lampu, lampu tersebut tidak menyala karena arus baterai tersebut kecil. Untuk mengatasinya, 2 buah baterai Li-Po 150 mAH diparalel agar diperoleh arus yang cukup besar untuk menyalakan sebuah lampu DC 12 V/3 W. Pengujian purwarupa *energy harvesting* paralel dengan Baterai Li-Po 150 mAH dengan beban lampu diberikan pada Gambar 14 sebelah kiri, sedangkan rangkaian pengujiannya diberikan pada Gambar 14 sebelah kanan.



Gambar 14. Pengujian Purwarupa *Energy Harvesting* Paralel dengan Baterai Li-Po 150 mAH dengan Beban Lampu

Kesimpulan

Makalah ini menguraikan tentang rancang bangun purwarupa sistem pemanen energi menggunakan piezoelektrik yang dipasang di lantai dan menghasilkan energi listrik saat mendapat tekanan. Purwarupa sistem tersusun dari deretan 16 piezoelektrik yang dibuat menjadi 4 baris dan dipasang secara paralel. Sistem dilengkapi dengan modul pemanen energi LTC358 dan modul *step up booster* MT 3608. Hasil pengujian menunjukkan saat deretan piezoelektrik diinjak dengan jumlah dan durasi tertentu maka energi listrik berhasil disimpan dalam baterai. Daya maksimum yang dihasilkan sebesar 3,48 W setelah dilewatkan melalui penyearah gelombang penuh. Besar kenaikan tegangan listrik yang tersimpan dalam baterai bervariasi sesuai dengan tipe dan kapasitas baterainya. Untuk jumlah injakan kaki yang sama terhadap deretan piezoelektrik, kenaikan pengisian tegangan baterai Li-Po 150 mAH lebih kecil dibandingkan dengan tipe 250 mAH. Kontribusi dari penelitian yang telah dilakukan berupa konfigurasi pemanen energi berupa deretan 16 piezoelektrik yang dilengkapi dengan modul pemanen energi LTC358 dan modul *step up booster* MT3608 untuk menghasilkan energi listrik yang memadai untuk menyalakan beban listrik berupa lampu. Purwarupa ini perlu dikembangkan lebih lanjut agar dapat menghasilkan energi listrik yang memadai untuk menyalakan beban listrik dengan jumlah lebih banyak dan kualitas daya lebih baik. Penelitian berikutnya yang dapat dilakukan mencakup penentuan skema efektif deretan piezoelektrik, pemilihan tipe piezoelektrik yang lebih tepat sesuai dengan spesifikasi beban yang digunakan, penambahan pelindung piezoelektrik dari kerusakan karena injakan, dan desain rangkaian penyearah yang dikombinasikan dengan filter agar diperoleh kualitas daya yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani atas dukungan finansial dalam menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini dibiayai dari skema Penelitian Kompetitif Unjani Tahun Anggaran 2020.

Daftar Pustaka

- Afif, M. & Rini, N. P. (2017). Rancang Bangun Instalasi Lampu PJU Termodifikasi LDR Berbasis Material Piezoelektrik pada Polisi Tidur. *Jurnal Fisika FLUX*, 14(2), 85-89.
- Akinaga, H. (2020). Recent advances and future prospects in energy harvesting technologies. *Japanese Journal of Applied Physics* 59, 110201.
- Büyükköskün, İ., Tekin, S. A., Gürel, S. & Genç, M. S. (2019). Electricity Production from Wind Energy By Piezoelectric Material. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 8 (1), 41-46.
- Chen, L., Xu, X., Zeng, P. & Ma, J. (2014). Integration of Energy Harvester for Self-Powered Wireless Sensor Network Nodes. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Volume 2014, Article ID 782710.
- Eghbali, P., Younesian, D., Moayedizadeh, A. & Ranjbar, M. (2020). Study in circular auxetic structures for efficiency enhancement in piezoelectric vibration energy harvesting, *Sci Rep* 10, 16338 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73425-1>
- Jintanawan, T., Phanomchoeng, G., Suwankawin, S., Kreepoke, P., Chetchatree, P. & U-viengchai, C. (2020). Design of Kinetic-Energy Harvesting Floors. *Journal of Energies* 13, 5419.
- Najmurokhman, A., Fakhri, Z. & Reza, M. (2017). Pengembangan Pembangkit Listrik Tersebar Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi. *Seminar Nasional Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, 18 Oktober 2017*.

- Nechibvute, A., Chawanda, A. & Luhanga, P. (2012). Piezoelectric Energy Harvesting Devices: An Alternative Energy Source for Wireless Sensors. *Journal of Smart Materials Research*, Volume 2012, 853481.
- Niasar, E.H.A., Dahmardeh, M. & Googarchin, H. S. (2020). Roadway piezoelectric energy harvester design considering electrical and mechanical performances. *J Mechanical Engineering Science*, 234(1), 32–48.
- Pratama, R. R., Sofyan, M. F. & Ekawati, E. (2015). Desain Sepatu Berpiezoelektrik Sebagai Sistem Pemanen Energi dari Aktivitas Berjalan Manusia. Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015, Bandung 10-11 Desember 2015.
- Varadha, E. & Rajakumar, S. (2018). Performance improvement of piezoelectric materials in energy harvesting in recent days – a review. *Journal of Vibroengineering*, 20 (7), 2632-2650.
- Wang, D.W., Liu, M.X., Qian, W.J., Wu, X., Ma, Q. & Wu, Z.Q. (2020). Parametrical Investigation of Piezoelectric Energy Harvesting via Friction-Induced Vibration. *Journal of Shock and Vibration*, Volume 2020, 6190215.
- Xu, X., Cao, D., Yang, H. & He, M. (2018). Application of piezoelectric transducer in energy harvesting in pavement, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11 (2018). 388–395.
- Yuliana, H., Yusaniar, R., Zainal, Y. B. (2020). Rancang Bangun Sistem Energy Harvesting di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik Array. *Jurnal Teknik*, 19(1), 69-78.
- Zebua, D., Kolago, D., Wijaya, Y.A.C. & Utama, Y. A. K. (2019). Desain dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Hujan Menggunakan Piezoelectric Disk, *TECNOSCIENZA*, 4(1), 80-94.