

PERANCANGAN PROTOTYPE PEMBANGKIT PIEZOELEKTRIK LANTAI UNTUK SUPLAJ ENERGI LISTRIK LAMPU PENERANGAN PINTU MASUK RUMAH

Mila Anggreni Valemtina¹, Eva Magdalena Silalahi^{2*}, Bambang Widodo³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia (UKI); Jl. Mayjen Soetoyo No.2 Cawang, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia

Received: 2 Januari 2025
Accepted: 14 Januari 2025
Published: 20 Januari 2025

Keywords:

*alternative energy;
electrical energy generation;
electrical energy supply;
piezoelectricity;
renewable energy sources.*

Correspondent Email:

eva.silalahi@uki.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji prototipe pembangkit energi listrik berbasis piezoelektrik lantai sebagai sumber energi alternatif untuk lampu penerangan rumah tanpa bergantung pada suplai listrik dari PLN. Prototipe yang dirancang berbentuk keset kaki dan terdiri dari 18 keping piezoelektrik berdiameter 35 mm yang disusun pada papan MDF berukuran 60×30 cm dan dilengkapi dengan dioda zener 9.1V, kapasitor 100 μ F 25 V, dan beban lampu LED 1 W, 5V/1A. Pengujian piezoelektrik dengan pemberian tekanan melalui dua metode. Metode 1, ditekan dengan tangan, LED menyala, dengan nilai tegangan tertinggi sebesar 0,5 V dan arus 0,2 mA. Metode 2, diinjak dengan kaki penguji, diperoleh hasil: penguji bermassa 61 kg, LED menyala, dengan tegangan tertinggi 7,17 V; dan penguji bermassa 54 kg, LED menyala, menghasilkan tegangan tertinggi 6,17 V.

Abstract. This research aims to design and test a prototype piezoelectric floor-based electrical energy generator as an alternative energy source for home lighting without depending on electricity supply from PLN. The designed prototype is in the shape of a doormat and consists of 18 piezoelectric chips with a diameter of 35 mm arranged on an MDF board measuring 60×30 cm and equipped with a 9.1V zener diode, a 100 μ F 25 V capacitor, and a 1 W, 5V/1A LED light load. Piezoelectric testing by applying pressure using two methods. Method 1, pressed by hand, the LED lights up, with the highest voltage value of 0.5 V and current of 0.2 mA. Method 2, stepped on with the tester's foot, obtained results: the tester has a mass of 61 kg, the LED is on, with the highest voltage of 7.17 V; and the tester has a mass of 54 kg, the LED lights up, producing the highest voltage of 6.17 V.

1. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang ini, listrik telah menjadi energi yang paling banyak digunakan, setelah sumber energi alam. Dimana energi tidak dapat dibuat atau dimusnahkan, tetapi dapat ditransfer atau diubah menjadi bentuk lain[1], energi listrik dengan kemajuan teknologi saat ini, telah mengambil alih hampir sebagian sumber kebutuhan energi manusia. Dari kegiatan sederhana seperti memasak

hingga kegiatan medis, listrik sudah menjadi kebutuhan yang tidak boleh terpisahkan. Dan pemadaman listrik global selama 24 jam saja, dapat mengakibatkan kekacauan yang sangat parah[2].

Disetiap belahan dunia saat ini, masing-masing mengupayakan kebutuhan energi listrik yang semakin pesat. *World Energy Outlook 2023* dari Badan Energi Internasional atau IEA, mengungkapkan bahwa pada tahun 2050

nanti, konsumsi energi final dalam bentuk energi listrik di seluruh dunia melonjak sangat pesat menjadi sekitar 53%. Besaran ini naik lebih dari dua kali lipatnya dari kondisi tahun 2022 lalu; 12% dari pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN); dan 3% sisanya dari sumber energi minyak bumi[3]. Berdasarkan keadaan tersebut, komitmen untuk *Net Zero Emission* dimana 2050, diharapkan penggunaan energi berbasis minyak bumi berkurang menjadi 12%, gas alam 4%, dan batu bara tinggal 2% [4]. Komitmen ini berfokus pada pengembangan energi baru terbarukan, dan menciptakan lingkungan yang lebih ramah minim emisi.

Selain EBT yang telah disebutkan diatas, ada banyak jenis pembangkit energi lainnya yang memiliki potensial yang cukup tinggi. Salah satunya adalah pembangkit energi *Piezoelektrik*. Pembangkit energi listrik *Piezoelektrik* menggunakan sensor yang disebut *Sensor Piezoelektrik*, yang merupakan alat yang memiliki kemampuan untuk mengubah gaya fisik, seperti tekanan, getaran, dan suhu, menjadi muatan listrik yang dapat diukur dan sebaliknya[5].

Banyak penelitian telah dilakukan tentang penggunaan bahan piezoelektrik untuk menghasilkan energi listrik. Dalam penelitian “Pengaruh Luas Permukaan Piezoelectric Disk Terhadap Tekanan dan Getaran Dalam Menghasilkan Energi Listrik” tahun 2019, Peneliti menguji keramik diameter 12 mm hingga 35 mm dalam kondisi tekanan dan getaran. Hasilnya, semakin besar luas permukaan keramik, semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan[6].

Kemudian, berdasarkan penelitian tahun 2020, berjudul “Rancang Bangun Alat Pemanen Energi Listrik Dari Tekanan Mekanik Berbasis *Piezoelektrik*”. Dengan menggunakan 35 keping keramik yang disusun paralel dan seri dengan dioda, peneliti menemukan bahwa peningkatan beban dari 55 kg hingga 85 kg berbanding lurus dengan peningkatan tegangan keluaran[7].

Selanjutnya, penelitian tahun 2024, dengan judul “Inovasi Energi Hijau: Piezoelektrik Untuk Mengubah Getaran Kendaraan Menjadi Listrik”. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi dan prototipe perangkat menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan energi portabel yang cukup

untuk mengisi daya perangkat elektronik kecil. Rata-rata tegangan output yang lebih tinggi dari rangkaian seri, sebesar 4,766 V, dibandingkan dengan rangkaian paralel, sebesar 4,612 V, memberikan gambaran efisiensi dan kinerja kedua konfigurasi rangkaian dalam mengumpulkan energi dari getaran kendaraan.[8]

Kemudian penelitian pada tahun 2022, berjudul, “Pemanfaatan Sensor *Piezoelektrik* Sebagai Penghasil Sumber Energi Dengan Tekanan Anak Tangga”. Penelitian ini menguji berbagai konfigurasi rangkaian paralel dan seri, peneliti menemukan bahwa rangkaian 5 paralel 4 seri menghasilkan tegangan dan arus tertinggi saat menaiki dan menuruni anak tangga, mencapai 5.80 V dan 0.13 mA. Hasil ini mengindikasikan bahwa desain rangkaian yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pemanenan energi dari langkah kaki[9].

Penelitian berikutnya tahun 2021, tentang “Lantai pembangkit Listrik Menggunakan *Piezoelektrik* dengan *Buck Converter* LM2596”. Dengan tujuan untuk menghasilkan listrik dari lantai *piezoelektrik* yang dilengkapi dengan berbagai jenis konverter, mereka berhasil menunjukkan bahwa meskipun pembangkit berhasil menghasilkan tegangan, namun output yang dihasilkan masih fluktuatif dan tidak konsisten[10].

Penelitian selanjutnya, tentang “Rancang Bangun Tangga Penghasil Listrik Sebagai Energi Alternatif” tahun 2022. Penelitian ini mengkaji potensi pemanfaatan energi mekanik dari langkah kaki untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini memberikan gambaran awal tentang potensi pemanfaatan energi langkah kaki, namun masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi[11].

Pada tahun 2022, penelitian yang berjudul “Analisis Daya *Piezoelektrik* Pada Alat Pencegahan Penyebaran Coronavirus Terintegrasi IoT”, penelitian ini mengembangkan inovasi sistem protokol kesehatan yang menggunakan energi *piezoelektrik* untuk pencegahan coronavirus. Dengan memanfaatkan energi mekanik dari langkah kaki untuk menghasilkan listrik dan mengintegrasikannya dengan teknologi IoT, menggunakan 120 buah *piezoelektrik* yang dipasang pada dua tangga prototipe, peneliti berhasil menghasilkan tegangan yang

meningkat seiring dengan bertambahnya beban[12].

Penelitian selanjutnya tahun 2022, berjudul “RSV-P (*Road Speed Bump’s Vibration Power Plant*): Pemanfaatan *Speed Bump* Sebagai Media Konversi Getaran Jalan Menjadi Energi Listrik Alternatif EBT Berbasis IoT”, dikembangkan prototipe yang mengubah getaran dari *speed bump* menjadi energi listrik untuk penerangan jalan. Uji coba menunjukkan bahwa pada rangkaian seri, beban 146 kg menghasilkan tegangan 3.312V-3.978V dengan daya maksimum 12.3318 μ W, beban 161 kg menghasilkan tegangan 3.526V-4.236V dengan daya maksimum 13.9788 μ W, dan beban 186 kg menghasilkan tegangan 4.693V-5.732V dengan daya maksimum 19.4888 μ W. Data dari rangkaian paralel juga bervariasi tergantung pada beban kendaraan dan kecepatan[13].

Kemudian pada tahun 2022, penelitian tentang “Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan *Piezoelektrik* Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Kaset Kaki Dengan Metode *Energy Harvesting*”. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa *piezoelektrik* memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif. Dengan memanfaatkan energi kinetik dari gerakan kaki, *piezoelektrik* dapat menghasilkan energi listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada *piezoelektrik*, semakin besar pula tegangan yang dihasilkan[14].

Penelitian selanjutnya tentang “*Footstep Power Generation Using Piezoelectric Sensor and Distribution using RFID*”, tahun 2020. Penelitian ini berhasil merancang sebuah sistem yang mampu mengubah energi kinetik dari langkah kaki manusia menjadi energi listrik melalui sensor *piezoelektrik*. Energi listrik yang dihasilkan kemudian dapat disimpan dan digunakan untuk mengisi perangkat elektronik seperti ponsel secara aman menggunakan teknologi RFID[15].

Kemudian pada tahun 2020, pada penelitian tentang “*Power Generation Using Piezoelectric Material*”. Penelitian ini mengeksplorasi potensi energi *piezoelektrik* untuk mengatasi krisis energi. Dengan menempatkan sensor *piezoelektrik* di antara dua pelat logam, peneliti berhasil

menghasilkan tegangan listrik dari tekanan yang diberikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan, semakin besar pula tegangan yang dihasilkan[16].

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan diatas, secara garis besar menyimpulkan bahwa pembangkit listrik *piezoelektrik* masih merupakan pembangkit berskala kecil dan rata-rata memiliki keluaran tegangan dan arus yang kecil. Tegangan keluaran yang dihasilkan juga tergantung pada ukuran sensor *piezoelektrik* yang digunakan, dimana semakin besar sensornya, tegangannya akan menjadi lebih baik. Demikian juga dengan getaran, tekanan yang diberikan berbanding lurus terhadap output yang dihasilkan. Beberapa percobaan juga menyebutkan bahwa rangkaian paralel lebih cenderung menghasilkan tegangan yang lebih besar dibanding dengan rangkaian sensor *piezoelektrik* secara seri.

Melihat fakta bahwa pembangkit *piezoelektrik* belum populer seperti pembangkit lainnya, terutama dalam pengaplikasiannya untuk keperluan setiap hari, dan penulis tertarik dan merasa perlu dilakukan penelitian berupa perancangan pembangkit energi listrik *piezoelektrik*, yang didesain untuk suplai energi listrik lampu penerangan masuk rumah yang tidak bergantung pada suplai listrik PLN.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penulis mengidentifikasi rumusan masalah sebagai dasar penelitian ini, yakni:

- Bagaimana merancang sebuah prototipe *piezoelektrik* berbentuk kaset kaki yang dapat memanfaatkan gaya tekan dari kaki dan tangan?
- Bagaimana cara menghasilkan energi listrik menggunakan tekanan pada material *piezoelektrik* untuk mensuplai beban berupa lampu LED?

Terkait dengan rumusan masalah tersebut, maka ditentukan tujuan penelitian sebagai berikut:

- Merancang desain dan membangun pembangkit *piezoelektrik* sederhana berbentuk kaset kaki yang dapat memanfaatkan gaya tekan dari kaki dan tangan.
- Menghasilkan energi listrik untuk mensuplai beban berupa lampu LED, dan menganalisis kemampuan pembangkit

untuk menyuplai beban LED, untuk jangka waktu ≥ 5 detik melalui gaya tekan dari kaki dan tangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

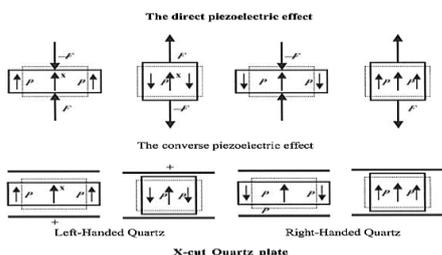
2.1 Piezoelektrik

Piezoelektrik diambil dari bahasa Yunani “piezo” yang bermakna “listrik bertekanan”. Secara umum piezoelektrik merupakan zat kristal tertentu yang menghasilkan muatan listrik di bawah tekanan mekanis dan sebaliknya mengalami reaksi mekanis akibat medan listrik.

Efek piezoelektrik ditemukan oleh kakak beradik Curie (Pierre dan Jacques Curie) pada kristal tunggal kuarsa tahun 1880. Di bawah tekanan, kuarsa menghasilkan muatan/tegangan listrik. Kakak beradik Curie memanfaatkan penemuan mereka dengan membuat elektrometer kuarsa piezoelektrik, yang dapat mengukur arus listrik yang lemah[17].

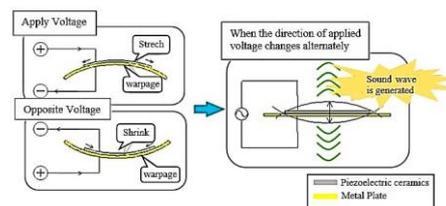
2.2 Cara Kerja Piezoelektrik

Piezoelektrisitas dipahami sebagai interaksi elektromekanik linear antara keadaan mekanik dan listrik dalam kristal yang tidak memiliki pusat simetri[18]. Berdasarkan gambar 2.1, efek piezoelektrik langsung terjadi ketika deformasi mekanik dari bahan piezoelektrik menghasilkan perubahan proporsional dalam polarisasi listrik bahan tersebut, yaitu muatan listrik muncul pada sisi-sisi tertentu dari bahan piezoelektrik ketika diberi beban mekanik[18].



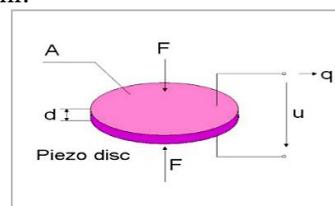
Gambar 2.1. Efek langsung (direct) dan terbalik (converse) Piezoelektrik.[18]

Untuk memperjelas efek piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik (efek langsung) dan getaran (efek terbalik), perhatikan gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Prinsip kerja piezoelektrik (Sumber: www.manorshi.com).

Setiap sisi piezoelektrik membentuk kutub listrik, sehingga ketika kristal piezoelektrik mengalami tekanan mekanis dalam bentuk simetris, distribusi muatan listrik tersebut akan berubah menjadi asimetris, menghasilkan tegangan listrik. Dalam teknologi piezoelektrik, spesifikasi piezoelektrisitas merupakan hasil dari kombinasi sifat elektris material, yaitu fluks listrik, permitivitas listrik, medan listrik, dan prinsip-prinsip Hukum Hooke. Kemudian untuk menghitung tegangan yang dapat dihasilkan dari piezoelektrik seperti pada gambar 2.3, didapatkan rumus sebagai berikut ini.



Gambar 2.3. Kepingan piezoelektrik (sumber: www.mmf.de).

$$q = d_{33} F \tag{1}$$

$$u = \frac{d_{33} d}{e_{33} A_d} F \tag{2}$$

dengan,

u = tegangan (V).

F = gaya (N).

A_d = diameter elektroda (mm).

d = ketebalan elektroda piezo (mm).

q = muatan (C).

d₃₃, e₃₃ = koefisien piezoelektrik dari bahan, (Pe/N) yaitu: 98 dan 148 (Pc/N).

Tekanan P didefinisikan sebagai berikut:

$$P = m \times g \tag{3}$$

dan,

$$F = \frac{P}{A} \tag{4}$$

dimana:

F = tekanan (N/m²).

P = gaya (N).

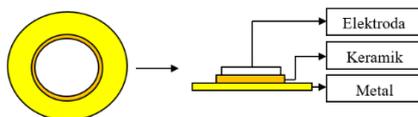
A = luas area pelat elektroda (m²).

m = massa (kg).
g = gravitasi bumi (9,8 m/s²).

2.3 Bahan Piezoelektrik

Bahan *piezoelektrik* merupakan material yang dapat menghasilkan listrik sebagai akibat dari tekanan mekanis atau regangan. Diantaranya, kuarsa (Quartz, SiO₂), Turmalin, Berlinite serta Garam Rossel diperoleh sebagai bahan alami, sementara Lead zirconiumtitanate (PZT), Barium titanate (BaTiO₃), Lead titanate (PbTiO₃) adalah bahan buatan [18].

Susunan elemen *piezoelektrik* dapat diperhatikan pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4. Diafragma Piezoelektrik.

2.4 Rangkaian dan Elemen Pembangkit Piezoelektrik

2.4.1 Rangkaian Paralel Piezoelektrik

Seperti diperlihatkan pada gambar 2.5, rangkaian paralel piezoelektrik, tersusun dengan menggabungkan semua bagian kabel positif piezoelektrik dengan satu jalur dan bergitu juga dengan bagian kabel negatifnya.

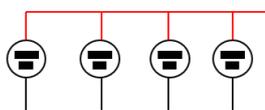
$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = \dots = V_n \quad (5)$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots + I_n \quad (6)$$

dimana:

V = tegangan (V)

I = arus (A)



Gambar 2.5. Disain rangkaian paralel piezoelektrik.

2.4.2 Rangkaian Seri Piezoelektrik

Jenis rangkaian yang hanya memiliki satu jalur tempat arus listrik mengalir dari sumber disebut rangkaian seri. Seperti tampak pada Gambar 2.6.

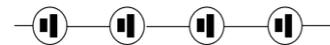
$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n \quad (7)$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = \dots = I_n \quad (8)$$

dimana:

V_{total} = tegangan total (V)

I_{total} = arus total (A)

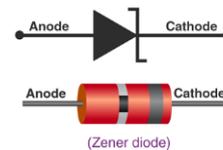


Gambar 2.6. Rangkaian seri Piezoelektrik.

2.5 Regulator dan Kapasitor Rangkaian

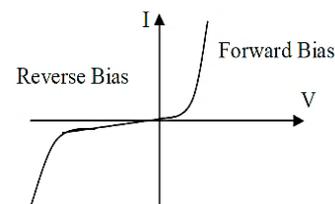
2.5.1 Regulator Rangkaian Piezoelektrik

Karena biasanya ada perubahan pada masukan sumber dan beban yang berbeda, regulator tegangan berfungsi untuk menstabilkan keluaran tegangan sumber.



Gambar 2.7. Simbol dan bentuk dioda Zener.

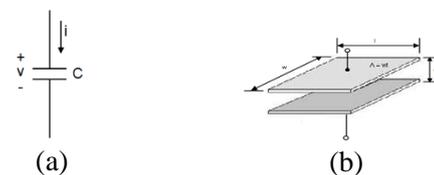
Regulator yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan dioda zener. Karakteristik dioda zener diperlihatkan pada gambar 2.8 dibawah. [18]



Gambar 2.8. Karakteristik dioda zener. [19]

2.5.2 Kapasitor

Kapasitor, atau kondensator, merupakan komponen listrik yang mampu menyimpan energi dalam medan listrik, dan disimbolkan seperti pada gambar 2.9(a). Sebuah kapasitor sederhana adalah sebuah konfigurasi dari dua pelat paralel yang memiliki luas dan jarak pelat tertentu seperti pada gambar 2.9(b).



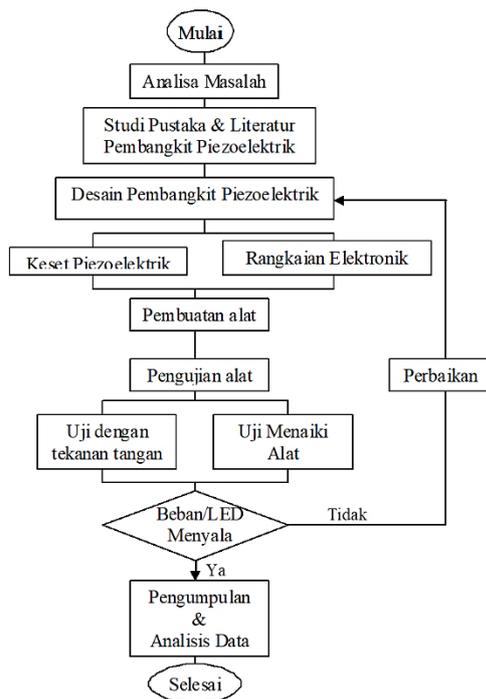
Gambar 2.9. Simbol rangkaian (a), dan bentuk kapasitor (b).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Deskripsi Rancangan Penelitian

Perancangan dan pembuatan *prototype* pembangkit listrik *piezoelektrik* yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi

perancangan *piezoelektrik* sebagai penghasil tegangan, dioda zener yang selain sebagai pengubah tegangan AC ke DC juga digunakan untuk tujuan keamanan bila terjadi tegangan balik dari penyimpanan muatan sementara, kapasitor sebagai penyimpanan sementara muatan listrik, switch untuk memutus dan menyambungkan rangkaian ke beban, dan lampu LED sebagai penerangan atau output dari *prototype* pembangkit listrik piezoelektrik.



Gambar 3.1. Diagram alir Penelitian.

Dalam pembuatan *prototype* piezoelektrik ini dibuat tahapannya dalam bentuk diagram alir yang diperlihatkan dalam gambar 3.1.

3.2. Perancangan Sistem Prototipe

Perancangan sistem ini berisikan alur sistem dalam pembangkit energi listrik *piezoelektrik*. Seperti diperlihatkan pada gambar 3.2, dimulai dari tekanan berupa pijakan kaki manusia, *piezoelektrik*, penyearah dan regulator berupa dioda zener, kapasitor untuk menyimpan daya sementara, dan beban berupa lampu LED.



Gambar 3.2. Alur Sistem Prototipe.

3.4.1 Tekanan Kaki

Pengujian tekanan berupa tekanan kaki pada penelitian ini, terjadi pada saat pengujian berdiri diatas pembangkit *piezoelektrik* yang di desain sebagai keset kaki. Pada waktu ini, kedua kaki pengujian berada diatas keset *piezoelektrik*, sehingga tekanan yang diberikan dapat secara menyeluruh menyebar keseluruh kepingan *piezoelektrik*.

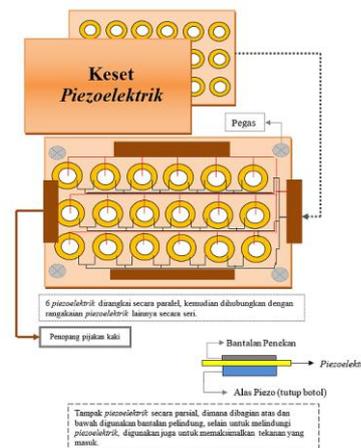
Pengujian akan berdiri diatas keset dalam waktu ≥ 5 detik, dan pada waktu itu dengan menekan switch, maka lampu LED akan menyala. Pada waktu ini rangkaian diharapkan mampu menyediakan kebutuhan LED sebagai beban, untuk waktu ≥ 5 detik, sama dengan lama waktu pengujian berada diatas keset pembangkit *piezoelektrik*.

3.4.2 Desain Prototipe

Sebelum merancang pembangkit *piezoelektrik*, terlebih dahulu dibutuhkan sebuah desain untuk rancangan pembangkit dimaksud.

a) Desain Keset Piezoelektrik

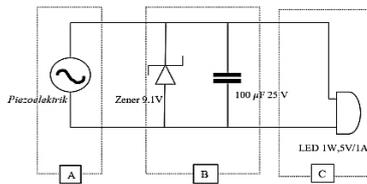
Gambar 3.3 menjelaskan desain dari keset *piezoelektrik*.



Gambar 3.3. Desain Keset Piezoelektrik.

b) Desain Regulator dan Kapasitor

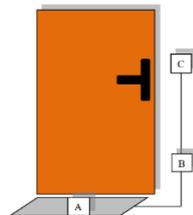
Untuk regulator yang digunakan, seperti telah dijelaskan sebelumnya, digunakan dioda zener 9.1 V. Fokus penggunaan dioda pada rangkaian ini adalah selain sebagai penyearah tegangan, digunakan juga untuk melindungi sumber (*piezoelektrik*) dari tegangan balik (*reverse bias*). Dalam disain digunakan sebuah kapasitor 100 μ F 25 V dan beban lampu LED 5V.



Gambar 3.4. Diagram desain keset piezoelektrik.

3.3. Perancangan Alat

Berdasarkan pada gambar 3.5, rangkaian keset *piezoelektrik* dibagi menjadi 3 bagian, bagian **A** adalah pembangkit *piezoelektrik* dalam bentuk keset kaki. Kemudian akan disambungkan dengan bagian **B**, yakni rangkaian dioda zener dan kapasitor yang menyambung pada bagian **C**, dimana *LED* sebagai beban berada.



Gambar 3.5. Aplikasi desain pada pintu.

3.4. Pengujian Alat dan Pengumpulan Data

Pengujian alat merupakan serangkaian uji yang dilakukan pada alat atau prototipe yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan keberhasilan prototipe sesuai dengan desain dan tujuan penelitian. Berdasarkan pengujian alat ini, nantinya akan diperoleh data yang akan digunakan sebagai bahan analisis sehingga dapat ditarik sebuah kesimpulan dari penelitian dimaksud.

Pada penelitian ini, pengujian akan dilakukan dengan memberikan tekanan pada prototipe keset pembangkit listrik *piezoelektri*. Tekanan yang digunakan berupa tekanan dari tangan dengan cara menekan prototipe dan tekanan kaki pada, dengan menaiki prototipe. Dalam penelitian ini menggunakan alat ukur listrik osiloskop dan multimeter.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

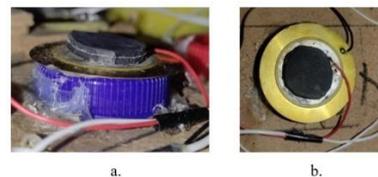
4.1 Pembuatan Prototype

Berdasarkan gambar 3.5, alat yang dirancang adalah sebuah prototipe berbentuk alas/keset kaki. *Piezoelektrik* akan diletakkan dan disusun pada papan MDF 40x30 cm, dengan ketebalan 6 mm. Kemudian digunakan

papan lainnya dengan ukuran dan model yang sama sebagai penutup, dan tempat pijakan, atau tekanan diberikan.

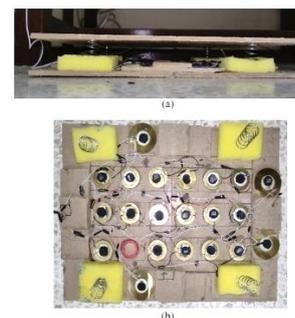
Dengan beberapa penyesuaian sensor *Piezoelektrik* yang digunakan berjumlah sebanyak 22 buah, dimana 18 diantaranya memiliki diameter 35 mm dan sisanya 50 mm. Agar *piezoelektrik* bisa melakukan regangan saat diberi tekanan, maka seharusnya *piezoelektrik* tidak ditempel secara langsung pada permukaan datar papan MDF. Seperti pada gambar 4.1, pada 18 *piezoelektrik* digunakan berupa tutup botol berdiameter sekitar 30 mm dan tinggi sekitar 8 mm sebagai alas, sedangkan untuk 4 lainnya digunakan berupa spons tipis yang ditempelkan hanya pada tepiannya, dan kemudian dibagian atas *piezoelektrik* diberikan bantalan berbahan karet, sebagai titik untuk diberikan tekanan.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan, *piezoelektrik* tidak hanya membutuhkan tekanan untuk menghasilkan listrik, tetapi juga diperlukan hentakan pada saat memberikan tekanan. Untuk itu, sesuai desain ditambahkan berupa pegas, yang memisahkan antara papan yang ditempel *Piezoelektrik*, dengan papan untuk diinjak, seperti tampak pada gambar 4.2.



Gambar 4.1. Tampak samping (a), dan atas (b), pemasangan *Piezoelektrik*.

Untuk proses pembuatan *prototype* melewati dua tahap, dimana tahap pertama yaitu bagian perancangan bagian mekaniknya, seperti papan guna untuk pijakan pada kaki. Proses yang kedua ialah perancangan bahan elektroniknya seperti *piezoelektrik*, kapasitor, diode zener, dan beban pada lampu.



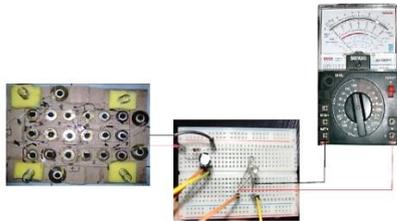
Gambar 4.2. Tampak samping (a) dan atas (b) keset *piezoelektrik*.

4.2 Pengujian Prototype

Dalam pengambilan data pada keset piezoelektrik, digunakan 2 jenis tekanan yang berbeda, yaitu menggunakan tekanan dari tangan dan tekanan dari kaki (menaiki keset). Variasi tekanan ini, dimaksudkan untuk melihat efek tekanan dengan kejutan pada pembangkit piezoelektrik.

4.2.1 Hasil pengambilan data menggunakan multimeter

Pada proses pengambilan data yang pertama, menggunakan multimeter dengan maksud untuk memperoleh data tegangan dan arus yang dihasilkan oleh prototype. Adapun hasil dari pengujian prototipe piezoelektrik menggunakan multimeter.



Gambar 4.1. Pengukuran rangkaian Piezoelektrik dengan multimeter.

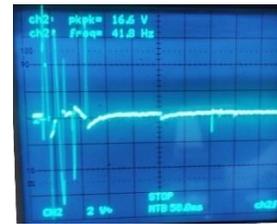
Tabel 4.1. Hasil ukur dengan multimeter.

No	Kapasitor	Tegangan Piezoelektrik (V)	Tegangan Beban (V)	Arus (mA)
1	100 μ F	0,2	0,5	0,2
2	200 μ F	0,05	0,1	0,2

Tabel 4.1 diatas menunjukkan tegangan dan arus pada prototype dimana setiap pengujian menggunakan jenis kapsitor yang berbeda, yaitu kapasitor 100 μ F dan 200 μ F.

4.2.2 Hasil pengambilan data menggunakan osiloskop

Pengambilan data yang kedua menggunakan osiloskop, dengan tujuan untuk mengetahui gelombang tegangan yang dihasilkan oleh prototype piezoelektrik. Untuk pengujian gelombang ini juga menggunakan tekanan tangan dengan sedikit hentakan pada prototype piezoelektrik. Pada pengambilan data osiloskop ini, tidak menggunakan kapasitor 200 μ F, dikarenakan percobaan yang dilakukan, dimana kapasitor tersebut tidak menghasilkan gelombang yang bisa dibaca oleh osiloskop. Adapun gelombang hasil dari pengujian prototipe piezoelektrik menggunakan osiloskop berikut ini.



Gambar 4.4. Gelombang tegangan keset piezoelektrik pada osiloskop.

Untuk data gelombang diatas menunjukkan hasil pkpk (peak-to-peak) yang tertinggi. pengambilan datanya menggunakan hentakan tangan ke bagian atas papan pelindung piezoelektrik, namun terlihat perbedaan gelombang.

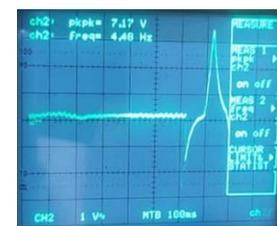
Secara keseluruhan, hasil pengukuran osiloskop dengan menggunakan hentakan tangan, pada timer 50 ms dpada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil ukur menggunakan Osiloskop.

Waktu (ms)	Peak-to-peak (V)	Frekuensi (Hz)
50	13.9	50
50	13.8	49.9
50	15.1	50
50	15.2	293
50	15.6	66.5
50	16.6	41.8

4.2.3 Menggunakan tekanan kaki

Untuk pengujian selanjutnya, dilakukan dengan menaiki keset piezoelektrik. Pengujian ini dilakukan oleh dua orang dengan berat masing masing adalah 54 kg dan 62 kg. pengujian dilakukan dengan menggunakan kapasitor 100 μ F, dan menggunakan alat ukur osiloskop dengan hasilnya pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.



Gambar 4.5. Gelombang ukur osiloskop untuk berat 62 kg.



Gambar 4.6. Gelombang ukur osiloskop untuk berat 54 kg.

4.3 Analisis Hasil Penelitian

Berikut dibahas analisis pada prototype yang dibuat baik berdasarkan rumus perhitungan dan juga berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

4.3.1 Analisis Gaya, Tekanan dan Tegangan Piezoelektrik sesuai Rumus

Dengan menggunakan persamaan (3) dapat ditentukan tekanan (P) dan dengan menggunakan persamaan (4), gaya (F) yang bekerja, sesuai massa pengujian pada saat pengujian (penguji 1 dan penguji 2) menginjak keset *piezoelektrik*.

Selanjutnya ditentukan gaya pada permukaan keset *piezoelektrik* pada saat pengujian dengan menaiki keset *piezoelektrik*, dengan nilai $A = 18 \text{ m}^2$.

$$\begin{aligned} m_1 &= 54 \text{ kg} & m_2 &= 61 \text{ kg} \\ P_1 &= 529 \text{ N} & P_2 &= 597,8 \text{ N} \\ F_1 &= 32,88 \text{ N/m}^2 & F_2 &= 33,21 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2), menggunakan gaya P_1 dan P_2 . Diameter piezoelektrik (A_d) = 35 mm, dengan ketebalan piezoelektrik (d) = 0,4 mm, dan koefisien *piezoelektrik* dari bahan, yaitu 98/148, maka dapat ditentukan besar tegangan yang dapat dihasilkan dari *piezoelektrik* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 &= 54 \text{ kg} & m_2 &= 61 \text{ kg} \\ u_1 &= 4,00 \text{ V} & u_2 &= 4,52 \text{ V} \end{aligned}$$

4.3.2 Analisis Hasil Pengujian Prototype

Dari hasil pembuatan dan pengujian prototype, selanjutnya dapat diambil beberapa data sebagai berikut:

- a. Desain pembangkit piezoelektrik terdiri dari 18 keping piezoelektrik berdiameter 35 mm dan disusun pada sebuah papan mdf 60×30 cm, yang dirangkai dalam tiga rangkaian paralel, masing-masing terdiri dari 6 piezoelektrik dan dilengkapi dengan dioda Zener 9,1V, kapasitor 100 μF 25 V, dan beban lampu LED 1 W, 5V/1A.
- b. Pengujian piezoelektrik dengan pemberian tekanan melalui dua metode yaitu:
 - 1) Ditekan dengan tangan, LED menyala, dengan nilai tegangan tertinggi sebesar 0,5 V dan arus 0,2 mA.
 - 2) Diinjak dengan oleh kaki penguji:
 - bermassa 61 kg, LED menyala, dengan tegangan tertinggi 7,17 V,

- bermassa 54 kg, LED menyala, dengan tegangan tertinggi 6,17 V.

Berdasarkan hasil perhitungan, dengan pengujian bermassa 54 kg diperoleh tegangan 4,0 V, dan pengujian dengan massa 61 kg diperoleh tegangan 4,52 V. Terdapat perbedaan hasil tegangan antara perhitungan dan pengujian yang signifikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis serta data-data yang diperoleh pada pengujian prototipe pembangkit energi listrik piezoelektrik dalam bentuk keset kaki, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Desain pembangkit piezoelektrik terdiri dari 18 keping piezoelektrik berdiameter 35 mm dan disusun pada sebuah papan mdf 60×30 cm, yang dirangkai dalam tiga rangkaian paralel, masing-masing terdiri dari 6 piezoelektrik dan dilengkapi dengan dioda Zener 9,1V, kapasitor 100 μF 25 V, dan beban lampu LED 1 W, 5V/1A.
- b. Pengujian piezoelektrik dengan pemberian tekanan melalui dua metode yaitu:
 - 1) Ditekan dengan tangan, LED menyala, dengan nilai tegangan tertinggi sebesar 0,5 V dan arus 0,2 mA.
 - 2) Diinjak dengan oleh kaki penguji:
 - bermassa 61 kg, LED menyala, dengan tegangan tertinggi 7,17 V,
 - bermassa 54 kg, LED menyala, dengan tegangan tertinggi 6,17 V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Kekekalan Energi," Wikipedia. Accessed: Mar. 13, 2024. [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Kekekalan_energi
- [2] "Rayadi, M. P. (2023, 9 Desember). Apa yang Terjadi Jika Listrik di Seluruh Dunia Mati Selama 24 Jam? Ini Dampaknya pada Manusia. Diakses dari <https://www.pikiran-rakyat.com/gaya-hidup/pr-017452828/apa-yang-terjadi-jika-listrik-di-seluruh-dunia-mati-selama-24-jam-ini-dampaknya-pada-manusia?page=all>. Diakses pada 13 Maret 2024."

- [3] BUDIAWAN SIDIK A, "Listrik Akan Mendominasi Bentuk Energi Masa Depan Dunia," KOMPAS.id. [Online]. Available: <https://www.kompas.id/baca/riset/2023/10/31/listrik-akan-mendominasi-bentuk-energi-masa-depan>
- [4] A. M. H. Putri, "EBT Jauh, Pembangkit Listrik RI Masih Didominasi Batu Bara," CNBC Indonesia. Accessed: Mar. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.cnbcindonesia.com/research/20230523113140-128-439740/ebt-jauh-pembangkit-listrik-ri-masih-didominasi-batu-bara>
- [5] "How Piezoelectric Sensors Work," APC internasional. [Online]. Available: <https://www.americanpiezo.com/blog/how-piezoelectric-sensors-work/>
- [6] Y. A. C. Wijaya, D. Zebua, D. P. U. Kolago, and Y. A. Kurnia, "Pengaruh Luas Permukaan Piezoelectric Disk terhadap Tekanan dalam menghasilkan energi listrik," pp. 54–59, 2017.
- [7] E. Stiawan and A. J. Taufiq, "Rancang Bangun Alat Pemanen Energi Listrik Dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 2, no. 2, Dec. 2020, doi: 10.30595/jrre.v2i2.8280.
- [8] A. Kiswanto, "INOVASI ENERGI HIJAU: PIEZOELEKTRIK UNTUK MENGUBAH GETARAN KENDARAAN MENJADI LISTRIK," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4452.
- [9] D. A. Prasetyo and R. F. Pradistia, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Dengan Tekanan Anak Tangga," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 55–64, Mar. 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i1.15140.
- [10] Diana Rahmawati, Miftachul Ulum, Muhammad Farisal, and Koko Joni, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596," *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 7, no. 3, pp. 84–89, Dec. 2021, Accessed: Apr. 02, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/E-JAEI/article/view/28128>
- [11] Muhammad Vicky, Hamdani, and Sofyan, "Rancang Bangun Tangga Penghasil Listrik Sebagai Energi Alternatif," *Jurnal ELEKTRIK: ELEktronika, Kontrol dan Tenaga listRIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–11, Dec. 2022, Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.polimdo.ac.id/index.php/elektrik/article/view/439>
- [12] L. Z. Hanifah, B. P. Kurniawan, Y. Arista, and P. Rahayu, "Analisis Daya Piezoelektrik Pada Alat Pencegahan Penyebaran Coronavirus Terintegrasi IoT," *J. Appl. Electr. Eng.*, Jun. 2022, Accessed: Mar. 21, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAEI/article/view/4051>
- [13] Djody Rizqy Rahman, Muhamad Kholiq Iqbal Basith, Tiffany Rachmania Darmawan, and Safira Firdaus Mujiyanti, "RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S VIBRATION POWER PLANT): PEMANFAATAN SPEED BUMP SEBAGAI MEDIA KONVERSI," *Lomba Karya Tulis Ilmiah*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, Oct. 2022, Accessed: Feb. 25, 2024. [Online]. Available: <https://journal.ittelkom-sby.ac.id/lkti/article/view/183>
- [14] N. K. H.D and S. Rifaldi, "Analisis Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik dari Kaset Kaki dengan Metode Energy Harvesting," *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 38–49, Aug. 2022, doi: 10.55893/epsilon.v20i1.85.
- [15] Meena Chavan, Sachin Chauhan, Maanvendra Singh, and Archie Tripathi, "Footstep Power Generation using Piezoelectric Sensor and Distribution using RFID," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no. 9, Sep. 2020, Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V7/i9/IRJET-V7I9242.pdf>
- [16] Vikram Rathod, Shubhada Janotkar, Nikhil Daundkar, Ajay Mahajan, and Anup Chaple, "Power Generation Using Piezoelectric Material," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, no. 2, Feb. 2018, Accessed: Feb. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V5/i2/IRJET-V5I222.pdf>
- [17] Kenji Uchino, "The Development of Piezoelectric Materials and the New Perspective," in *Advanced Piezoelectric Materials*, Elsevier, 2017, pp. 1–92. doi: 10.1016/B978-0-08-102135-4.00001-1.
- [18] G. Gautschi, *Piezoelectric Sensorics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. doi: 10.1007/978-3-662-04732-3.

- [19] Hantje Ponto, *Dasar Teknik Listrik*, 1st ed. Yogyakarta: PENERBIT DEEPUBLISH (Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA), 2018.