



# LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT (LPPM) UNIVERSITAS BOJONEGORO

Sekretariat Panitia : Kantor Pusat UNIGORO, Jl. Lettu Suyitno No. 2 Telp (0353) 881984 – 885444 BOJONEGORO

## SURAT PERJANJIAN KONTRAK PENELITIAN NOMOR : 054 / LPPM-LIT / UB / IV / 2024

Pada Hari Ini Selasa Tanggal Enam Belas Bulan April Tahun Dua Ribu Dua Puluh Empat, yang bertanda tangan dibawah ini :

1. **LAILY AGUSTINA RAHMAWATI, S.Si., M.Sc.** selaku Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Bojonegoro, selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA.
2. **AMALIA MA'RIFATUL M., S.Si., M.T.** selaku Dosen Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro selaku Peneliti, selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

Kedua belah pihak menyatakan bersepakat untuk membuat perjanjian kontrak penelitian sebagai berikut :

### **Pasal 1** **Judul Penelitian**

PIHAK PERTAMA dalam jabatannya tersebut di atas, memberikan tugas kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan penelitian yang berjudul:

**"PROTOTYPE SANDAL PIZOELEKTRIK SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF DENGAN MEMANFAATKAN PIJAKAN KAKI"**

### **Pasal 2** **Waktu dan Biaya Penelitian**

- (1) Waktu penelitian adalah 5 bulan, dari **16 April 2024 sampai dengan 17 September 2024.**
- (2) Biaya pelaksanaan penelitian ini dibebankan pada Anggaran Universitas Bojonegoro Tahun 2023/2024 dengan **nilai kontrak sebesar Rp.5.000.000,- (Lima Juta Rupiah)**

### **Pasal 3** **Cara Pembayaran**

Pembayaran biaya penelitian diberikan sesuai dengan aturan dan tata cara yang telah ditetapkan dalam Pedoman Penelitian Universitas Bojonegoro, yaitu:

- (1) Tahap I sebesar 60% dari nilai kontrak yang diterima paling cepat dua minggu setelah surat perjanjian kontrak penelitian ini ditandatangani oleh kedua pihak melalui Bendahara Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Bojonegoro dengan bukti pencairan Tahap I berupa Proposal yang telah disetujui oleh LPPM dan Surat Keputusan Penerima Hibah Internal.
- (2) Tahap II sebesar 40% dari nilai kontrak yang diterima setelah PIHAK KEDUA menyelesaikan seluruh kewajiban pekerjaan penelitian yang dibuktikan dengan dokumen laporan penelitian dan bukti submit jurnal minimal **terakreditasi Sinta**.

#### **Pasal 4**

##### **Keaslian Penelitian dan bebas dari ikatan dengan Pihak Lain**

- (1) PIHAK KEDUA bertanggungjawab atas keaslian judul penelitian sebagaimana disebutkan dalam pasal 1 Surat Perjanjian Kontrak Penelitian ini (bukan duplikat/jiplakan/plagiat) dari penelitian orang lain.
- (2) PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bebas dari ikatan dengan pihak lain atau tidak sedang didanai oleh pihak lain.
- (3) Apabila di kemudian hari diketahui ketidakbenaran pernyataan ini, maka kontrak penelitian dinyatakan batal, dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana yang telah diterima.

#### **Pasal 5**

##### **Monitoring Penelitian**

- (1) PIHAK PERTAMA berhak untuk:
  - a. Melakukan pengawasan administrasi, monitoring, dan evaluasi terhadap pelaksanaan penelitian
  - b. Memberikan sanksi jika dalam pelaksanaan penelitian terjadi pelanggaran terhadap isi perjanjian oleh peneliti
  - c. Bentuk sanksi disesuaikan dengan tingkat pelanggaran yang dilakukan
- (2) Pemantauan kemajuan penelitian dilakukan oleh PIHAK PERTAMA.

#### **Pasal 6**

##### **Laporan Kemajuan dan Laporan Akhir Penelitian**

- (1) PIHAK KEDUA wajib menyerahkan Laporan Kemajuan kepada PIHAK PERTAMA **paling lambat tanggal 12 Juli 2024 atau tiga bulan setelah tanggal penandatanganan kontrak**.

- (2) Setelah Laporan Kemajuan disetujui oleh LPPM, PIHAK KEDUA wajib menyerahkan **Laporan Akhir dan bukti submit Jurnal minimal terakreditasi sinta paling lambat tanggal 17 September 2024.**
- (3) Berkas-berkas Laporan Akhir meliputi:
- Laporan lengkap penelitian sebanyak 3 (tiga) eksemplar dengan cover merah muda.
  - Salinan tautan jurnal, atau tangkapan gambar layar proses submit jurnal dan diletakkan di halaman paling belakang laporan.
- (4) Format laporan hasil penelitian sesuai dengan aturan-aturan yang telah ditetapkan pada surat Nomor: 007/LPPM/UB/III/2023 yang beralamatkan <https://www.unigoro.ac.id/lppm-lit-pkm/>.

### **Pasal 7 Sanksi**

Segala kelalaian baik disengaja maupun tidak, sehingga menyebabkan keterlambatan menyerahkan laporan hasil akhir penelitian dengan batas waktu dalam pasal 2 yang telah ditentukan akan mendapatkan sanksi sebagai berikut.

- Apabila PIHAK KEDUA menyerahkan Laporan Kemajuan tetapi tidak menyerahkan Laporan Akhir dan bukti submit jurnal maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan 60% dana penelitian yang telah diterima.
- Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan Laporan Kemajuan dan tidak menyerahkan Laporan Akhir serta bukti submit jurnal maka PIHAK KEDUA akan diberikan sanksi denda sebesar nilai kontrak sebagaimana tercantum pada Pasal 2 Ayat 2.

### **Pasal 8 Penutup**

Perjanjian ini berlaku sejak ditandatangani dan disetujui oleh PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA.

**PIHAK PERTAMA**  
Ketua LPPM Unigoro



**LAILY AGUSTINA R. S.Si., M.Sc.**  
NIDN. 07 210886 01

**PIHAK KEDUA**  
Peneliti



**AMALIA MA'RIFATUL M., S.Si., M.T.**  
NIDN. 0716119201

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN INTERNAL DOSEN**  
**Progam Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik**



**PROTOTYPE SANDAL PIZOELEKTRIK SEBAGAI SUMBER ENERGI  
LISTRIK ALTERNATIF DENGAN MEMANFAATKAN PIJAKAN KAKI**

**Tim Peneliti:**

**Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.**  
**Novia Pramesti Dwi Cahyani**  
**Firstyan Deviena Citra Rahayu**

*Dibiayai oleh:*

*Universitas Bojonegoro*

*Periode 2 Tahun Anggaran 2023/2024*

**Nomor Kontrak:**

**054/LPPM-LIT/UB/IV/2024**

**UNIVERSITAS BOJONEGORO**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI**

**1. Judul Penelitian** : Prototype Sandal Pizoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif dengan Memanfaatkan Pijakan Kaki

**2. Tema** : Sistem Manufactur dan Jasa

**3. Ketua Peneliti**

a. Nama Peneliti : Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.

b. NIDN : 0716119201

c. Program Studi : Teknik Industri

d. E-mail : amalia@unigoro.ac.id

e. Bidang Keilmuan : Material Engginering

**Anggota Peneliti 1**

a. Nama (Dosen/  
Mahasiswa) : Novia Pramesti Dwi Cahyani

b. NIDN/NIM : 22262011047

c. Program Studi : Teknik Industri

d. E-mail : Noviapramesti2611@gmail.com

e. Bidang Keilmuan : -

**Anggota Peneliti 2**

a. Nama (Dosen/  
Mahasiswa) : Firstyan Deviena Citra Rahayu

b. NIDN/NIM : 22262011022

c. Program Studi : Teknik Industri

d. E-mail : Leeeeee.rae12@gmail.com

e. Bidang Keilmuan : -

- e Bidang Keilmuan -
4. Jangka Waktu : 6 bulan  
Penelitian
6. Lokasi Penelitian : Universitas Bojonegoro
7. Dana Diusulkan : Rp 5.000.000,00

Bojonegoro,

**Mengetahui,**

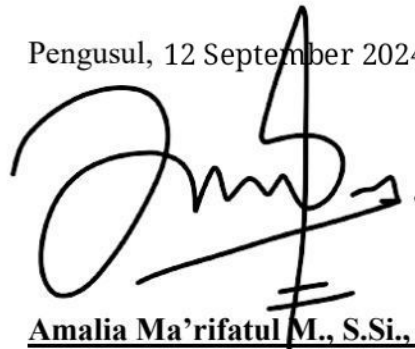
Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul, 12 September 2024



Laili Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.

NIDN 07 2108 8601



Amalia Ma'rifatul M., S.Si., M.T

NIDN. 07 16119201

6. Lokasi Penelitian : Universitas Bojonegoro  
7. Dana Diusulkan : Rp 5.000.000,00

Bojonegoro, 12 September 2024

**Mengetahui,**

Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,

**Dr. Laily Agustina Rahmawati, M.Sc.**

NIDN 07 2108 8601

**Amalia Ma'rifatul M., S.Si., M.T**

NIDN. 07 16119201

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur senantiasa saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan laporan penelitian ini sebaik-baiknya. Laporan penelitian ini berjudul **“Prototype Sandal Pizoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif dengan Memanfaatkan Pijakan Kaki”** ini disusun untuk memenuhi salah satu tridharma perguruan tinggi yaitu penelitian. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa penelitian sampai pembuatan laporan ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam pembuatan laporan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu tentang karakterisasi material ke depannya.

Bojonegoro, 12 September 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Landasan Teori</b> .....	4
<b>2.2 Penelitian Terdahulu</b> .....	12
<b>2.3 Kerangka Konsep Penelitian</b> .....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	16
<b>3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian</b> .....	16
<b>3.2 Lokasi Penelitian</b> .....	16
<b>3.3 Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	16
<b>3.4 Rancangan Alat</b> .....	16
<b>3.5 Variabel Penelitian</b> .....	18
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....	18
<b>3.7 Pengambilan Data</b> .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	21
<b>4.1 Hasil Penelitian</b> .....	21
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	25
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	33
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	33
<b>5.2 Saran</b> .....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu .....	12
Tabel 3. 1 Data hasil pengukuran daya dengan variasi berat badan .....	20
Tabel 3. 1 Data hasil pengukuran daya dengan variasi berat badan .....	20
Tabel 4. 1 Pengujian rangkaian seri dengan variasi berat badan .....	23
Tabel 4. 2 Pengujian rangkaian paralel dengan variasi berat badan .....	23
Tabel 4. 3 Pengujian pertama rangkaian seri dengan variasi kecepatan .....	23
Tabel 4. 4 Pengujian kedua rangkaian seri dengan variasi kecepatan .....	24
Tabel 4. 5 Pengujian ketiga rangkaian seri dengan variasi kecepatan .....	24
Tabel 4. 6 Pengujian pertama rangkaian paralel dengan variasi kecepatan .....	24
Tabel 4. 7 Pengujian kedua rangkaian paralel dengan variasi kecepatan .....	24
Tabel 4. 8 Pengujian ketiga rangkaian paralel dengan variasi kecepatan .....	25

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Efek piezoelektrik (Ebarahimi, 2013) .....	6
Gambar 2. 2 Rangkaian piezoelektrik secara seri .....	7
Gambar 2. 3 Rangkaian piezoelektrik secara paralel .....	8
Gambar 2. 4 Penyearah jembatan (Serway, 2010) .....	9
Gambar 2. 5 Penyearah jembatan (siklus 1) (Serway, 2010) .....	9
Gambar 2. 6 Penyearah jembatan (siklus 2) (Serway, 2010) .....	10
Gambar 2. 7 Rangkaian dioda zener sebagai regulator tegangan (Serway, 2010)	10
Gambar 2. 8 Tampak atas (kiri) dan bawah (kanan) rangkaian penyearah dan regulator (Akmal, 2017) .....	11
Gambar 2. 9 Rangkaian Menggunakan Kapasitor (Lee, 2011) .....	11
Gambar 2. 10 Kerangka konsep penelitian .....	15
Gambar 3. 1 Skema rangkaian seri piezoelektrik .....	17
Gambar 3. 2 Rangkaian seri piezoelektrik di sandal .....	17
Gambar 3. 3 Skema rangkaian paralel piezoelektrik .....	17
Gambar 3. 4 Rangkaian paralel piezoelektrik di sandal .....	18
Gambar 3. 5 Skema rangkaian penyearah .....	18
Gambar 3. 6 Diagram alir penelitian .....	19
Gambar 4. 1 Pembuatan rangkaian seri pizoelektrik .....	21
Gambar 4. 2 Pembuatan rangkaian paralel pizoelektrik .....	21
Gambar 4. 3 Rangkaian penyearah .....	22
Gambar 4. 4 Grafik hasil pengukuran daya pada prototipe dengan variasi berat badan .....	26
Gambar 4. 5 Grafik hasil pengukuran daya pada prototipe rangkaian seri dengan variasi kecepatan .....	29
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Daya Pada Prototipe Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan .....	31

## ABSTRAK

Seiring dengan berjalannya waktu, tingkat permintaan kebutuhan listrik terus meningkat dan tidak sebanding antara permintaan dan persediaan maka sangat diperlukan sumber energi yang dapat diperbarui. Sumber energi listrik alternatif yaitu memanfaatkan piezoelektrik. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada sensor piezoelektrik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan dan mengetahui pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel pada sensor piezoelektrik. Pembuatan dan perancangan pada prototipe dengan pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik terbagi dua, yaitu penyusunan seri dan paralel. Adapun hasil pengujian dengan variasi berat badan menggunakan rangkaian seri didapatkan output daya 1,26  $\mu$ W, 1,76  $\mu$ W, dan 2,23  $\mu$ W dan rangkaian paralel 36,13  $\mu$ W, 41,18  $\mu$ W, dan 43,98  $\mu$ W. Hal ini menunjukkan semakin besar tekanan diberikan pada sensor piezoelektrik, maka nilai output-nya akan semakin besar. Hasil pengujian rangkaian seri variasi kecepatan berjalan biasa (2,02 mW; 1,8 mW; 1,61), berjalan cepat (1,8 mW; 1,62 mW; 1,39 mW) dan berlari (2,56 mW; 2,39 mW; 1,82 mW), sedangkan pengujian rangkaian paralel variasi kecepatan berjalan biasa (31,27 mW; 26,75 mW; 23,9), berjalan cepat (26,09 mW; 23,86 mW; 22,62 mW) dan berlari (38,93 mW; 36,9 mW; 31,37 mW). Konfigurasi rangkaian seri menghasilkan daya lebih kecil dibandingkan dengan daya yang dihasilkan konfigurasi rangkaian paralel.

**Kata Kunci:** Sensor; Piezoelektrik; Daya listrik; Seri; Paralel

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Listrik menjadi bagian penting bagi masyarakat baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri. Berbagai peralatan maupun teknologi yang dipakai dalam kegiatan manusia dalam perkembangan teknologi zaman sekarang hampir sebagian besar menggunakan energi listrik. Hal ini menjadikan energi listrik sebagai sumber energi utama. Seiring dengan berjalannya waktu, tingkat permintaan kebutuhan listrik yang terus meningkat yang tidak sebanding antara permintaan dan persediaan maka sangat diperlukan sumber energi yang dapat diperbarui.

Energi yang dapat diperbarui merupakan sebuah pengembangan dari berbagai sumber daya yang sudah ada. Banyak peneliti yang terus membuat pengembangan sumber daya yang dapat diperbarui atau dapat digunakan secara terus menerus agar bisa digunakan dalam jangka yang sangat panjang tanpa takut kehabisan jika digunakan. Peneliti melakukan ini karena semakin tingginya permintaan atas energi listrik. Dikutip dari dinas lingkungan hidup dan kebersihan, konsep dari energi yang terbarukan sendiri baru mulai dikenal secara meluas pada tahun 1970-an. Karena penggunaan energi yang tidak terbarukan secara masif dan besar-besaran maka muncul energi terbarukan yang merupakan sebuah antitesis atas pengembangannya. Selain mempunyai kemampuan untuk dapat diperbarui, energi yang 3 terbarukan dipercaya sebagai salah satu solusi untuk mengatasi polusi lingkungan karena sifatnya yang jauh lebih bersih dan aman bagi lingkungan (Arief, 2020).

Sumber energi listrik alternatif dalam hal ini yang dapat dimanfaatkan salah satunya adalah dengan memanfaatkan piezoelektrik. Piezoelektrik dalam bahasa Yunani yaitu piezo artinya tekanan dan elektrik berarti listrik. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan ketika diberi stress (tekanan) mekanik akan menghasilkan medan listrik sebaliknya ketika medan listrik diterapkan pada bahan piezoelektrik akan terjadi deformasi mekanik (perubahan dimensi bahan). Sifat yang reversibel ini membuat material piezoelektrik dapat berfungsi sebagai transduser dan aktuator serta menarik untuk dikembangkan (Sharma, 2006). Piezoelektrik merupakan

sensor getaran yang dapat mengubah getaran atau energi mekanik menjadi energi listrik atau sebaliknya (Yulia. 2016). Pemanfaatan piezoelektrik akan semakin efektif ketika piezoelektrik dikenai dengan energi mekanik yang keluar dari gerak manusia tanpa disadari, salah satunya dengan memanfaatkan energi dari tekanan pijakan kaki.

Tekanan dari pijakan kaki dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. Sumber daya listrik dapat diperoleh melalui konversi energi kinetik yang dihasilkan dari gerak manusia menggunakan pengaturan mekanik dan sistem pemanenan piezoelektrik yang bersama-sama dengan sirkuit manajemen daya yang efisien digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif.

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan piezoelektrik, yaitu Akmal (2017) yang menggunakan metode eksperimen dimana tekanan yang diberikan pada sensor piezoelektrik bervariasi sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan 3 jenis pengujian, yaitu pengujian alat pada rangkaian seri, pengujian alat pada rangkaian parallel dan pengujian alat pada pengisian kapasitor. Sedangkan penelitian dilakukan oleh Rohman (2020) tentang rantai piezoelektrik sebagai penghasil sumber energi listrik dengan memanfaatkan pijakan kaki, menghasilkan rantai piezoelektrik yang telah dirancang terdiri atas rantai prototipe yang tersusun sensor piezoelektrik dan disambung dengan rangkaian yang telah dibuat mampu menghasilkan daya listrik dengan memberi tekanan pijakan kaki manusia. Selain itu, Islami (2022) melakukan penelitian tentang pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik pada sepatu untuk pengisian baterai peralatan elektronik berdaya rendah, menghasilkan pengaruh pembebanan tekanan pada sensor piezoelektrik berbanding lurus terhadap besar daya listrik yang dihasilkan dan konfigurasi rangkaian seri menghasilkan daya lebih kecil dibandingkan dengan daya yang dihasilkan konfigurasi rangkaian paralel.

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan sensor piezoelektrik sebagai sumber listrik alternatif. Sensor piezoelektrik dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui langkah kaki manusia, sehingga mampu mengeluarkan tegangan yang cukup, minimal untuk melakukan pengisian baterai yang memiliki konsumsi daya yang rendah. Berdasarkan hal demikian, maka

dirancanglah sebuah prototipe sandal pizoelektrik sebagai sumber energi listrik alternatif dengan memanfaatkan pijakan kaki.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada sensor piezoelektrik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh rangkaian seri dan paralel pada sensor piezoelektrik dari tekanan mekanik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada sensor piezoelektrik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel pada sensor piezoelektrik dari tekanan mekanik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain: memberikan data terkait hubungan antara rangkaian dan massa terhadap tegangan yang dihasilkan sensor piezoelektrik, mengaplikasikan sensor piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik untuk sistem yang lain, dan memberikan literasi pengetahuan tentang pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai sumber energi listrik alternatif.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Landasan Teori**

#### **Listrik**

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk menjalankan berbagai macam alat elektronik. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai macam sumber energi seperti; energi panas, energi gerak, dan bentuk-bentuk energi lainnya (Young dan Freedman, 2012).

#### **Besaran-Besaran Listrik**

##### **1. Tegangan Listrik**

Tegangan listrik merupakan perbedaan potensial listrik yang terjadi pada dua titik yang ada dalam satu rangkaian listrik. Tegangan listrik biasanya dinyatakan dengan satuan volt dan dihitung atau pun diukur dengan menggunakan voltmeter.

##### **2. Hambatan Listrik**

Hambatan listrik merupakan perbandingan tegangan suatu alat elektronik listrik dengan arus listrik yang melewatinya. Hambatan listrik biasanya dinyatakan dalam satuan ohm dan diukur dengan menggunakan ohmmeter.

##### **3. Arus Listrik**

Arus listrik merupakan jumlah muatan listrik yang timbul dari pergerakan electron-elektron dalam suatu rangkaian listrik yang diukur dalam satu satuan waktu tertentu. Besaran arus listrik biasanya dinyatakan dengan menggunakan satuan ampere dan diukur dengan menggunakan amperemeter.

##### **4. Daya Listrik**

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau joule per second yang diukur dalam satuan watt (W). Energi listrik dapat juga didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan waktu selama waktu tersebut. Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan kiloWatt-hour (kWh). Jaringan listrik AC dengan bentuk

gelombang sinusoidal dikenal dengan beberapa jenis jenis bentuk daya, diantaranya adalah daya kompleks, daya aktif, dan daya reaktif. Perkalian tegangan (V) dengan arus (I) dalam kedua besaran ini dalam bentuk kompleks adalah VI yang dinamakan daya kompleks dengan simbol S, dalam satuan Volt Ampere (VA). Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan  $S \cos \theta$  dengan symbol P, dalam satuan Watt (W)/ Sedangkan daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan  $S \sin \theta$  atau VI dengan symbol Q, dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR).

## **Teori Piezoelektrik**

### **Piezoelektrositas**

Piezoelektrisitas adalah sebuah fenomena saat sebuah gaya yang diterapkan pada suatu segment bahan menimbulkan muatan listrik pada permukaan segmen bahan tersebut yang disebabkan oleh adanya distribusi muatan listrik pada sel - sel kristal. Nilai koefisien muatan piezoelektrik berada pada rentang 1–100 pico coloumb/Newton (William Jr, 2010).

### **Efek Piezoelektrik**

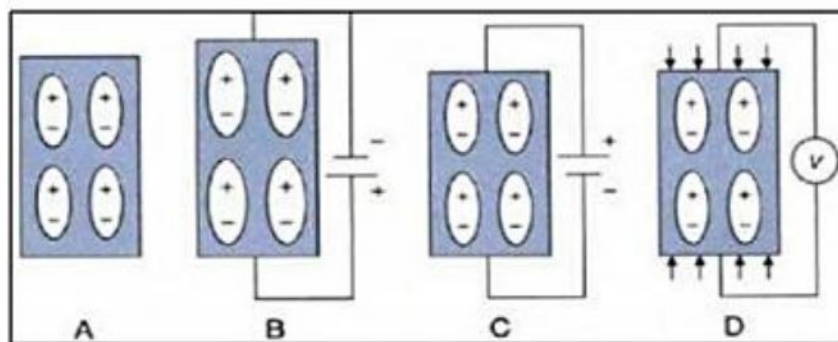
Efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipole yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal material. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut dikenal dengan electrostriction (Tichi, 2010). Efek piezoelektrik berasal dari interaksi antara benda mekanik dan keadaan elektrik pada suatu material. Terdapat dua keadaan dalam efek piezoelektrik. Keadaan pertama jika suatu benda padat tertentu dialiri arus listrik maka akan menyebabkan perubahan mekanik. Dan sebaliknya pada keadaan kedua jika suatu benda atau material padat tertentu diberi tekanan secara mekanik maka akan menimbulkan arus listrik (Yulianti dkk, 2010).

Efek piezoelektrik itu sendiri sebenarnya dibagi menjadi 2 macam, yaitu (Yulianti dkk, 2010):

#### *1. Direct Piezoelectric Effect*

## 2. Converse Piezoelectric Effect

Keduanya sama-sama terjadi pada bahan piezo perbedaannya adalah penyebab dan efek yang ditimbulkan, keduanya saling berkebalikan. Direct piezoelectric effect terjadi ketika suatu bahan piezoelektrik dikenai tekanan ataupun regangan secara mekanis sehingga timbul beda potensial, kebalikkannya adalah converse piezoelectric effect yaitu ketika suatu bahan piezoelektrik diberi beda potensial antara 2 sisinya sehingga akan menyebabkan perubahan bentuk secara mekanis pada bahan tersebut (Yulianti dkk, 2010). Fenomena efek piezoelektrik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Efek piezoelektrik (Ebarahimi, 2013)

Keterangan:

- A. Sebelum diberi tekanan atau medan listrik
- B. Ketika diberi medan listrik, bahan memanjang
- C. Diberi medan listrik berlawanan, bahan memendek
- D. Ketika diberi tekanan, induksi polarisasi dan tegangan luar terjadi

### **Kelebihan dan Kekurangan Piezoelektrik**

Adapun beberapa kelebihan penting dari piezoelektrik adalah fakta yang menunjukkan bahwa komponen ini bisa dengan sendiri membangkitkan tegangannya, hanya perlu diberi tekanan mekanik saja, dan oleh sebab itulah komponen ini tidak perlu bantuan daya atau tegangan dari luar untuk operasionalnya. Piezoelektrik ini sangat berguna untuk beberapa alat elektronik dimana konsumsi dayanya sangat terbatas, sangat bermanfaat untuk alat atau komponen elektronik yang bedaya kecil, karena efek dari piezoelektrik ini yang mempunyai hukum penyekalan yang cukup unik dan menarik. Namun komponen piezoelektrik ini juga memiliki beberapa kekurangan, adapun

kekurangannya adalah terdapat sedikit kebocoran muatan listrik pada komponen piezoelektrik ini, karena piezo ini bukan termasuk dalam susatu dielektrik yang cukup bagus. Kekurangan yang paling utama dari piezo ini adalah sensitifitasnya hanya bagus untuk sinyal yang selalu berubah-ubah terhadap waktu saja (Putra dkk, 2018).

## Rangkaian Pembangkitan Piezoelektrik

### Rangkaian Seri

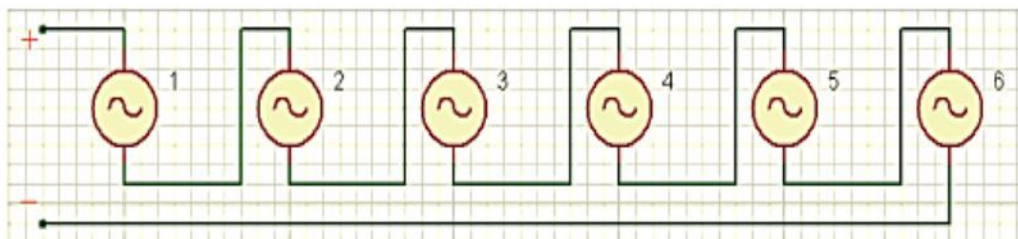
Rangkaian seri merupakan rangkaian yang hanya ada satu jalur tempat arus listrik mengalir dari sumber arus listrik. Pada Gambar 2.2 rangkaian seri dapat dijelaskan bahwa untuk pemasangannya pada piezoelektrik bagian positif piezo pertama disambungkan ke bagian negatif piezo kedua dan bagian positif piezo kedua disambungkan ke bagian negatif piezo ke tiga begitu seterusnya. Untuk Dayanya jumlah total daya yang masuk ke suatu titik percabangan sama dengan jumlah daya yang keluar pada titik percabangan tersebut, sehingga bisa dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E_{Total} = E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = \dots E_N \quad (1)$$

Sedangkan untuk total arusnya pada rangkaian seri adalah sama dengan penjumlahan arus yang dihasilkan oleh tiap komponen, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_{Total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots I_N \quad (2)$$

Dimana:  $E$  = Daya (Watt)  $E_{Total}$  dan  $I$  = Arus (Ampere)



Gambar 2. 2 Rangkaian piezoelektrik secara seri

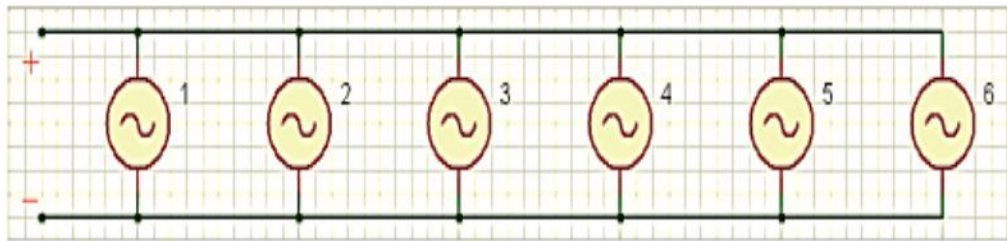
### Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel adalah rangkaian yang memiliki lebih dari satu jalur tempat arus listrik mengalir dari sumber arus listrik. Pada Gambar 2.3 dijelaskan bahwa rangkaian piezoelektrik secara paralel disusun dengan cara

menggabungkan semua bagian positif dari piezo menjadi satu dan juga menghubungkan semua bagian negatif piezo menjadi satu juga. Untuk dayanya jumlah total daya yang masuk pada suatu titik percabangan merupakan penjumlahan daya yang keluar pada setiap titik percabangan tersebut, sehingga bisa dirumuskan persamaannya sebagai berikut:

$$E_{\text{Total}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots + E_N \quad (3)$$

Sedangkan untuk arusnya pada rangkaian paralel, sesuai dengan bunyi dari Hukum Kirchof 1 “Arus listrik yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan arus yang keluar pada suatu titik percabangan tersebut, sehingga persamaannya bisa dirumuskan sebagai berikut:

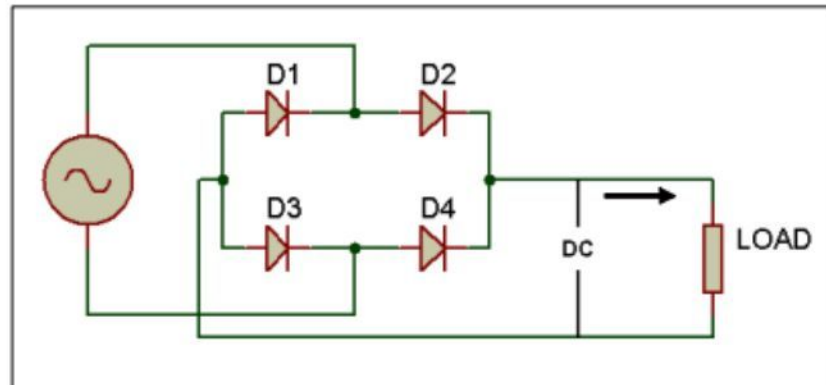


Gambar 2. 3 Rangkaian piezoelektrik secara paralel

### **Rangkaian penyearah dan regulator**

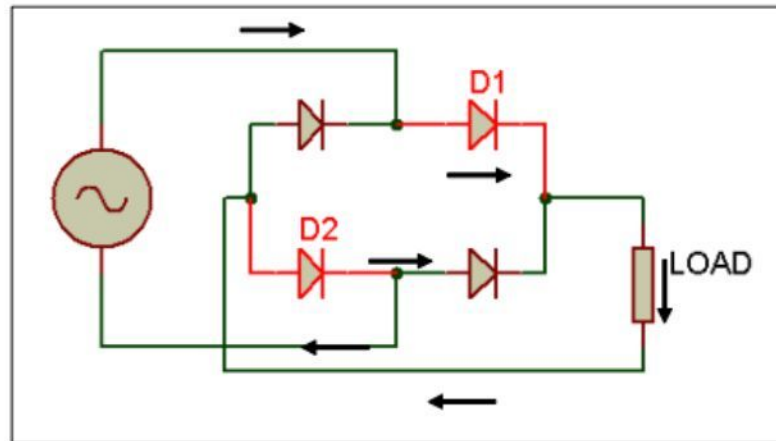
Penyearah dan regulator merupakan komponen-komponen elektronika yang terdiri dari penyearah jembatan dan juga regulator tegangan yang dibuat dalam satu papan PCB. Penyearah gelombang penuh berfungsi untuk merubah sinyal listrik bolak-balik (AC) menjadi sinyal listrik searah (DC). Regulator tegangan hanya berfungsi untuk menstabilkan tegangan keluaran. Penyearah sistem jembatan adalah sebuah penyearah yang menggunakan empat buah dioda yang disusun model jembatan. Penyearah sistem jembatan mampu menghasilkan keluaran gelombang penuh. Penyearah sistem jembatan disusun oleh empat dioda yang bekerja secara bergantian pada tiap fase sinyal sinusoidal. Hal ini menyebabkan keluaran penyearah sistem jembatan sama dengan penyearah gelombang penuh. Sebuah penyearah sistem jembatan sederhana digambarkan dengan empat buah dioda yang disusun model jembatan. Penyearah terdiri dari empat buah dioda, namun hanya dua dioda yang bekerja pada masing-masing fase sinyal sinus. Dioda D1 dan D3

menyearahkan tegangan positif dari sinyal sinus, sedangkan D2 dan D4 menyearahkan tegangan negatif dari sinyal sinus (Serway, 2010).



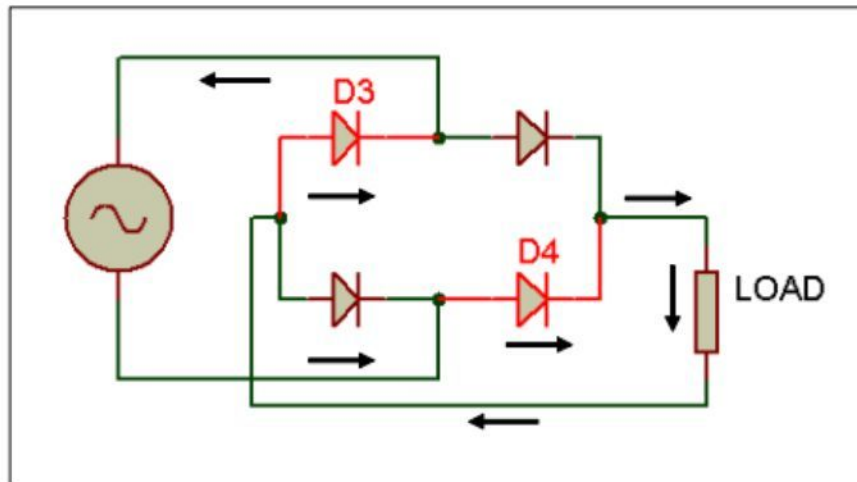
Gambar 2. 4 Penyearah jembatan (Serway, 2010)

Saat sinyal sinus pada siklus gunung (fase positif) maka titik A lebih positif dari titik B. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari titik A menuju D1 kemudian menuju D2 dan sampai pada titik B. Dalam hal ini katoda D1 menjadi titik positif dan Anoda D2 menjadi titik negatif. Siklus ini membuat dioda D3 dan D4 tidak bekerja karena berada pada posisi reverse (Serway, 2010).



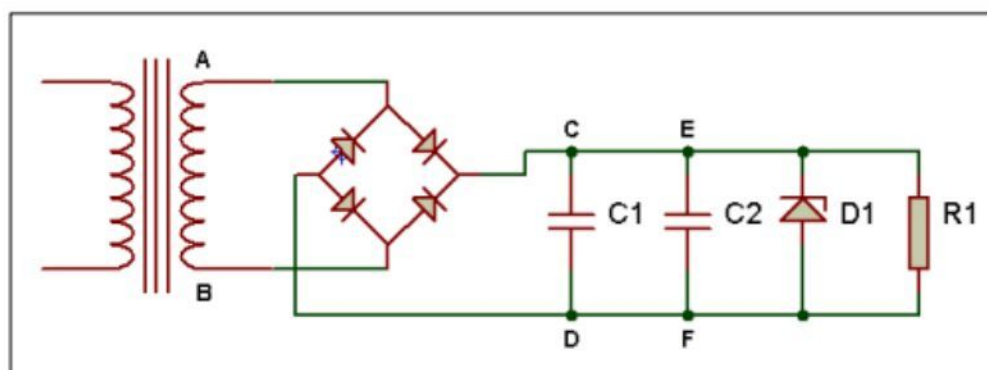
Gambar 2. 5 Penyearah jembatan (siklus 1) (Serway, 2010)

Saat sinyal sinus pada siklus lembah (fase negatif) maka titik B lebih positif dari titik A. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari titik B menuju D3 kemudian menuju D4 dan sampai pada titik A. Dalam hal ini katoda D3 menjadi titik positif dan Anoda D4 menjadi titik negatif. Siklus ini membuat gantian dioda D1 dan D2 tidak bekerja karena berada pada posisi reverse (Serway, 2010).



Gambar 2. 6 Penyearah jembatan (siklus 2) (Serway, 2010)

Regulator tegangan adalah bagian yang berfungsi untuk memberikan stabilitas output pada suatu power supply. Output tegangan DC dari penyearah tanpa regulator mempunyai kecenderungan berubah harganya saat dioperasikan. Adanya perubahan pada masukan AC dan variasi beban merupakan penyebab utama terjadinya ketidakstabilan pada power supply. Terjadinya perubahan catu daya akan berakibat cukup serius pada sebagian peralatan elektronika. Regulator tegangan untuk suatu power supply paling sederhana adalah menggunakan dioda zener. Rangkaian dasar penggunaan dioda zener sebagai regulator tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.14 (Serway, 2010).



Gambar 2. 7 Rangkaian dioda zener sebagai regulator tegangan (Serway, 2010)

Rangkaian pencatu daya (power supply) dengan regulator diode zener pada gambar rangkaian diatas, merupakan contoh sederhana cara pemasangan regulator tegangan dengan dioda zener. Dioda zener dipasang paralel dengan

R. Regulator ini hanya memerlukan sebuah diode zener terhubung seri dengan resistor R. Dioda zener dipasang dalam posisi reverse bias, dengan cara pemasangan ini, dioda zener hanya akan berkonduksi saat tegangan reverse bias (Serway, 2010).

Gambar penyearah yang dikombinasikan dengan regulator terlihat seperti gambar dibawah ini:



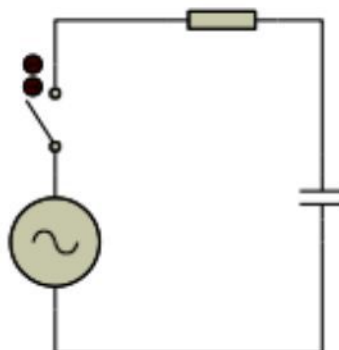
Gambar 2. 8 Tampak atas (kiri) dan bawah (kanan) rangkaian penyearah dan regulator (Akmal, 2017)

### **Kapasitor**

Suatu kapasitor dengan kapasitansi C bila dihubungkan dengan suatu sumber tegangan V maka setelah beberapa waktu kapasitor akan terisi oleh muatan sebesar (Lee, 2011):

$$Q = C V \quad (4)$$

Sebuah kapasitor dalam keadaan kosong dan belum dihubungkan dengan sumber tegangan seperti gambar di bawah ini (Lee, 2011):



Gambar 2. 9 Rangkaian Menggunakan Kapasitor (Lee, 2011)

Kapasitor terhubung dengan sumber tegangan saat saklar ditutup. Kapasitor akan segera terisi muatan tetapi tidak langsung penuh. Perlu beberapa waktu agar kapasitor terisi penuh, hal tersebut didapati dalam Persamaan (Lee, 2011):

$$V(t) = V(1 - e^{-t/RC}) \quad (5)$$

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah penelitian terdahulu yang sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Penelitian	Metode Penelitian	Variabel atau Instrumen	Hasil Penelitian
1.	Moch. Rizqi Aulia Islami, 2022	Eksperimen	Pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik pada sepatu untuk pengisian baterai peralatan elektronik berdaya rendah	Hasil pengambilan data dengan variasi berat badan menghasilkan daya paling besar pada berat badan 72,65 kg. Daya yang dihasilkan mencapai 3,39 $\mu$ W ketika dirangkai secara seri, dan mencapai 51,22 $\mu$ W ketika dirangkai secara paralel. Hasil pengambilan data dengan variasi kecepatan berjalan sejauh 2 km menghasilkan daya paling besar ketika berlari. Daya yang dihasilkan mencapai 3,28 mW ketika dirangkai secara seri, dan mencapai 41,56 mW ketika dirangkai secara paralel.
2.	Raja Hendry Ade, 2020	Eksperimen	Prototipe pemanfaatan piezoelektrik pada pijakan kaki manusia	Hasil percobaan yang sudah dilakukan memperlihatkan bahwa konfigurasi prototipe piezoelektrik rangkaian paralel jauh lebih efektif menghasilkan daya yang lebih besar

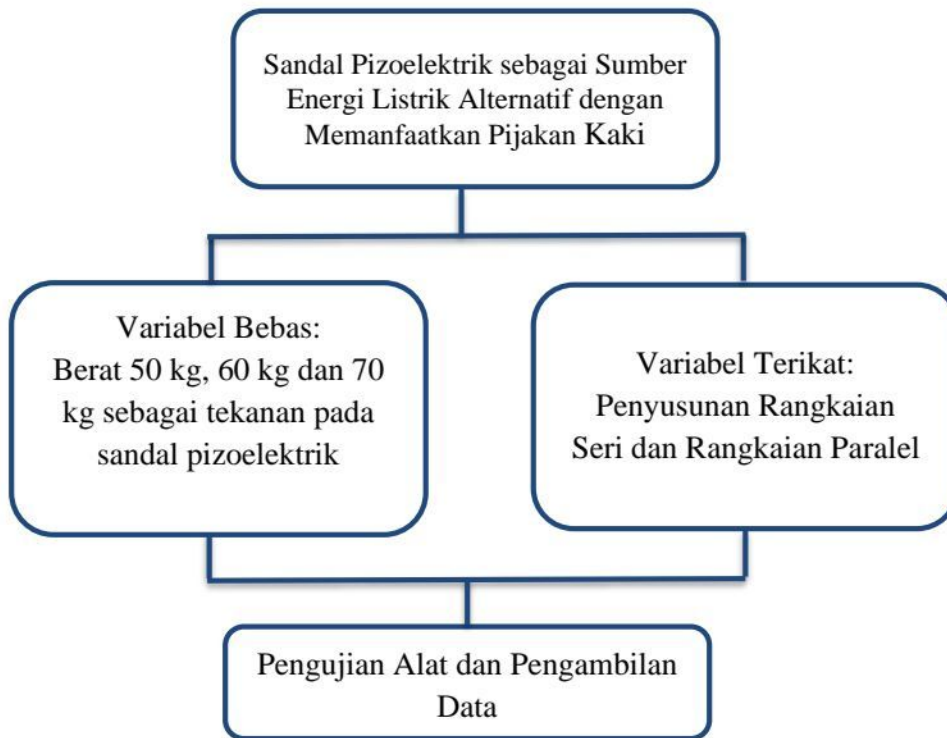
			sebagai sumber energi listrik alternatif	dari pada konfigurasi prototipe piezoelektrik dari rangkaian seri. Hasil pengujian pengisian kapasitor dalam waktu 1 menit tegangan yang terisi pada kapasitor sebesar 9,3 V. Dengan asumsi apabila pembangkit piezoelektrik ini diterapkan pada gedung FTI didapatkan energi yang dihasilkan pertahun adalah sebesar 634,608 Kwh dengan asumsi biaya pengaplikasiannya adalah sebesar Rp 170.133.600. Pembangkit ini diperkirakan bisa menyuplai 93 buah lampu dengan daya 30 Watt perhari.
3.	Muhammad Saifur Rohman, 2020	Eksperimen	Lantai piezoelektrik sebagai penghasil sumber energi listrik dengan memanfaatkan pijakan kaki	Data yang didapat dari pengujian ini menunjukkan daya keluaran paling tinggi 0,041 $\mu$ W dengan beban 68 kg pada susunan seri, sedangkan pada susunan paralel menunjukkan 240,59 $\mu$ W dengan beban 61 kg, beban disini sebagai penunjuk tekanan yang diberikan. Dari data tersebut maka susunan sensor piezoelektrik secara paralel memiliki daya keluaran yang paling besar.
4.	Aidil Mada Akmal, 2017	Eksperimen	Prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik	Hasil pengambilan data tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian seri terhadap pijakan manusia adalah 3,867 V, 6,067 V, 6,567 V, 7,63 V, 9,736 V, dan 10,366 V untuk masing-masing berat badan

			berbasis piezoelektrik	berturut-turut 20 kg, 35 kg, 42 kg, 49 kg, 55kg dan 60 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian paralel terhadap beban selain pijakan manusia adalah 0,196 V, 0,253 V, 0,306 V, 0,353 V, dan 0,503 V untuk masingmasing berat benda berturut-turut 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg.
5.	Riza Maulana, 2016	Eksperimen	Pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai penghasil energi pada sepatu	Data yang didapat dari pengujian sensor piezoelektrik menunjukkan ketika penyusunan secara seri, daya keluaran yang dihasilkan paling tinggi 5,8 $\mu$ W dengan beban maksimum 65 kg, sedangkan untuk penyusunan sensor secara paralel daya yang dihasilkan mencapai 24,5 $\mu$ W dari beban 60 kg sebagai indikasi tekanan yang diberikan.

Sumber: Hasil penelitian sebelumnya diolah (2024)

### 2.3 Kerangka Konsep Penelitian

Berikut adalah kerangka konsep penelitian:



Gambar 2. 10 Kerangka konsep penelitian

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian**

Penelitian ini merupakan salah satu jenis penelitian metode eksperimen, dimana variabel penelitian dan metode pengukurannya telah ditentukan. dengan tujuan untuk memanfaatkan hubungan antara tekanan dari kaki manusia dan bahan piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik. Variasi yang digunakan dalam penelitian adalah variasi tekanan dengan berat badan pemakai sandal dan variasi tekanan dengan kecepatan (berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari) dari dengan jarak sejauh 2 kilometer.

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini akan dilakukan di laboratorium Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro.

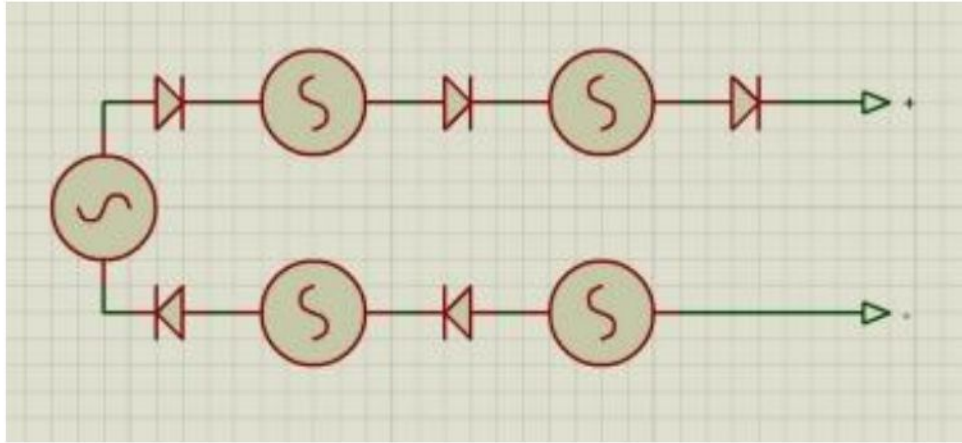
### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

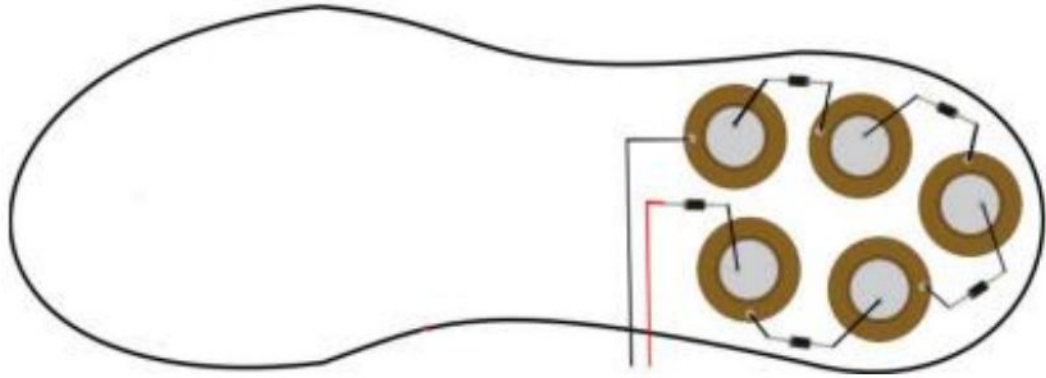
- |  |         |
|--|---------|
| 1. Piezoelektrik keramik diameter 2 cm | 10 buah |
| 2. Sandal                              | 1 buah  |
| 3. Kapasitor 100 $\mu$ F, 25 V         | 1 buah  |
| 4. Dioda 1N4002                        | 14 buah |
| 5. Kabel penghubung                    |         |
| 6. Lem                                 |         |
| 7. Solder                              |         |

### **3.4 Rancangan Alat**

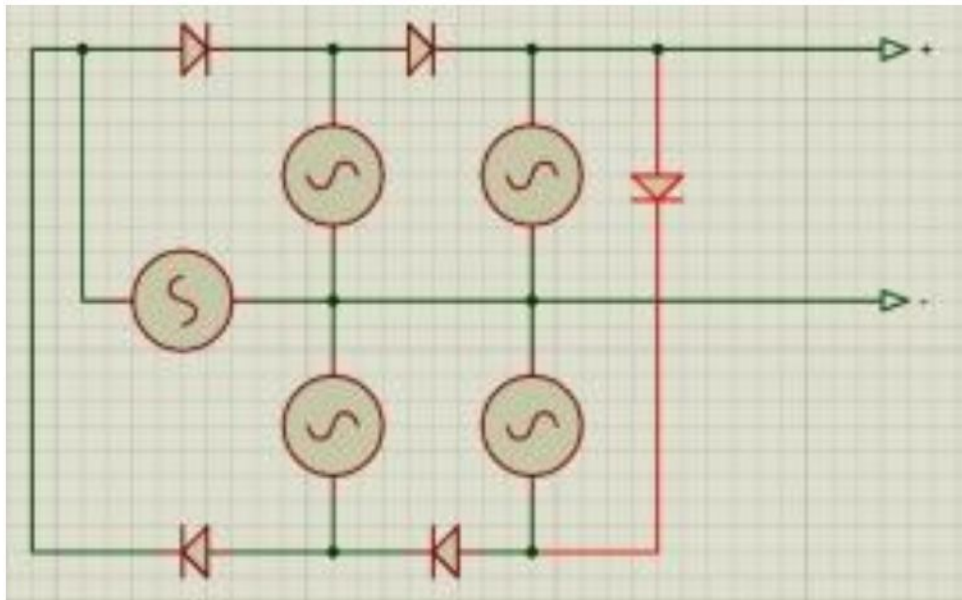
Pembuatan dan perancangan pada prototipe dengan pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik terbagi dua, yaitu dengan penyusunan secara seri dan paralel. Perancangan prototipe dengan menyusun beberapa sensor piezoelektrik yang satu dengan yang lain untuk membentuk suatu generator pembangkit yang akan memberikan tegangan dan arus listrik.



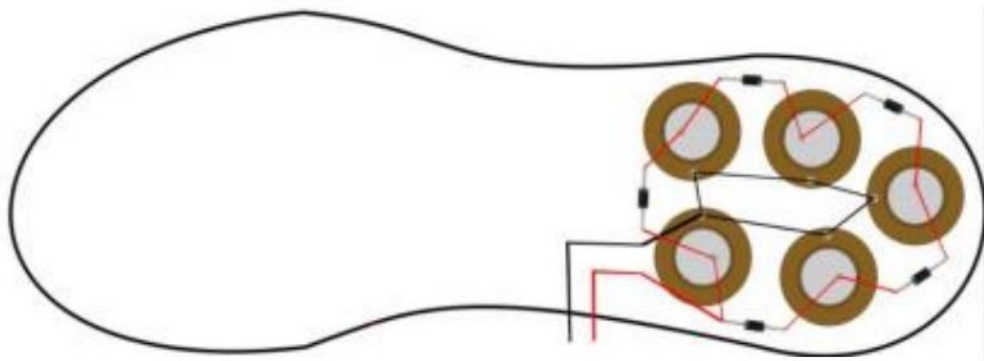
Gambar 3. 1 Skema rangkaian seri piezoelektrik



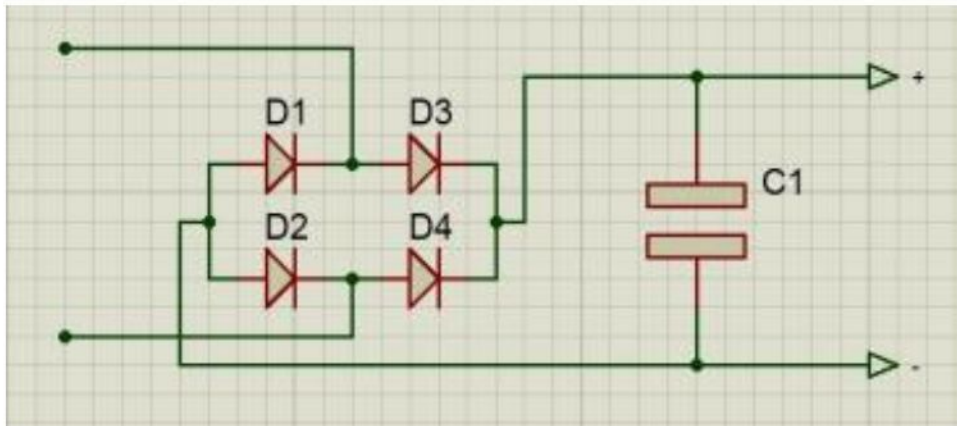
Gambar 3. 2 Rangkaian seri piezoelektrik di sandal



Gambar 3. 3 Skema rangkaian paralel piezoelektrik



Gambar 3. 4 Rangkaian paralel piezoelektrik di sandal



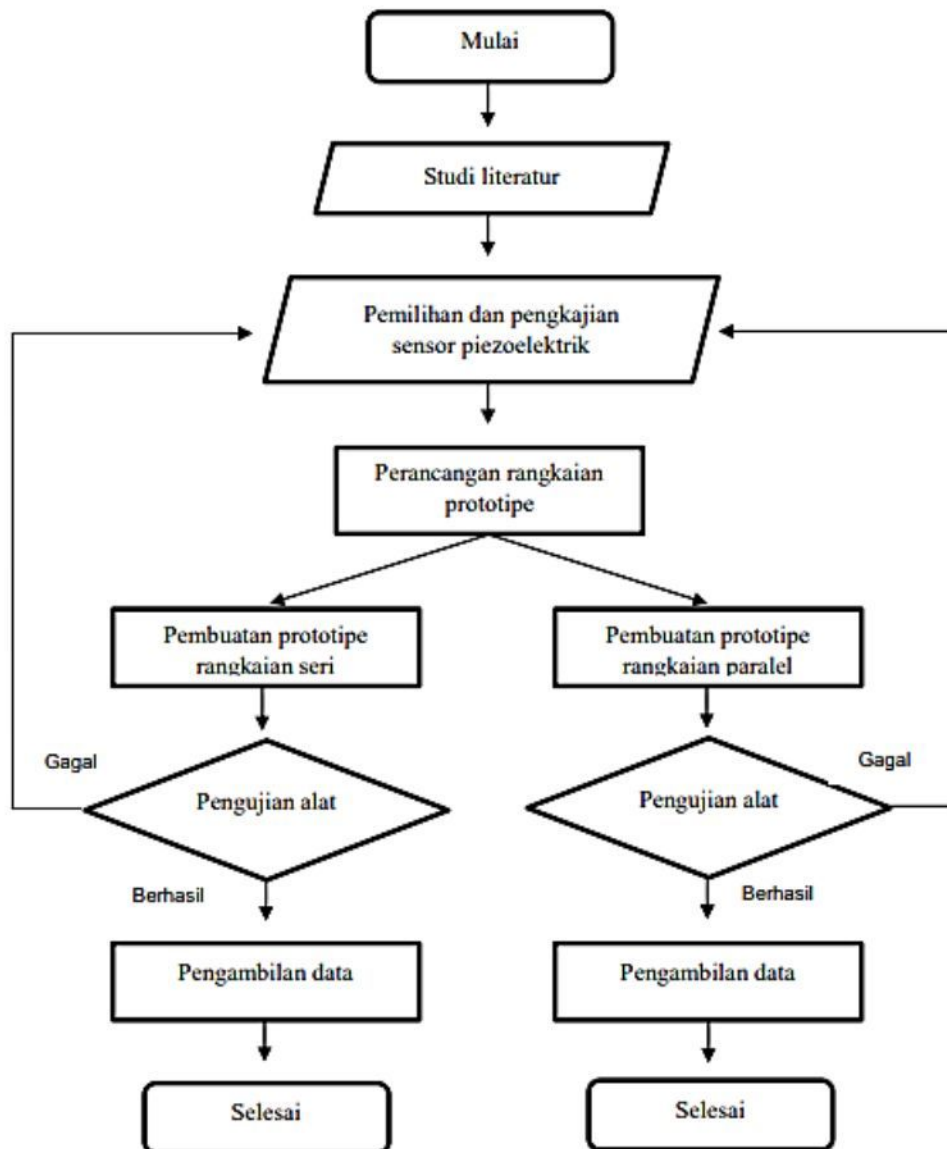
Gambar 3. 5 Skema rangkaian penyearah

### 3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pengambilan data penelitian ini adalah variasi tekanan dari kecepatan dan variasi tekanan dari berat badan pemakai sepatu piezoelektrik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi berat badan 50 kg; 60 kg; dan 70 kg dengan 10 kali injakan pengulangan. Sedangkan untuk pengujian variasi kecepatan hanya menggunakan beban sebesar 60 kg dengan variasi berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari sejauh 2 km.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan pengerjaan seperti yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3. 6 Diagram alir penelitian

### 3.6.1 Proses Pembuatan Prototipe Rangkaian Seri

Proses pembuatan prototipe yang disusun secara seri dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Dirangkai secara seri 5 buah piezoelektrik dan 5 buah dioda.
2. Dirangkai dioda dan kapasitor sebagai rangkaian penyearah.
3. Dihubungkan rangkaian penyearah dan piezoelektrik secara paralel.
4. Disisakan 2 kabel untuk pengukuran output.

### 3.6.2 Proses Pembuatan Prototipe Rangkaian Paralel

Proses pembuatan prototipe yang disusun secara seri dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Dirangkai secara paralel 5 buah piezoelektrik dan 5 buah dioda.
2. Dirangkai dioda dan kapasitor sebagai rangkaian penyearah.
3. Dihubungkan rangkaian penyearah dan piezoelektrik secara paralel
4. Disisakan 2 kabel untuk pengukuran output

### 3.7 Pengambilan Data

Data yang diambil dari penelitian ini adalah selisih presentase baterai sebelum dan sesudah diberikan tekanan dari variasi perlakuan yang berbeda yang akan dicatat dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Data hasil pengukuran daya dengan variasi berat badan

No	Berat Badan (Kg)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	50			
2	60			
3	70			

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Perencanaan prototipe

Perancangan prototipe penelitian ini menggunakan 5 buah sensor piezoelektrik jenis PZT (Lead Zirconium Titanate), 5 buah diode 1N4001, dan beberapa kabel penghubung. Prototipe diletakkan di bagian tumit kaki. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan input dari tekanan berat badan manusia. Dimana kedua tumit kaki menanggung beban 60% dari berat badan ketika berdiri tegak. Ketika berjalan, dan tumit menghentak di landasan beban satu kaki bisa mencapai 70% dari berat badan (Wibowo, 2018). Penyusunan sensor piezoelektrik bertujuan untuk membentuk suatu generator listrik yang akan menghasilkan tegangan dan arus yang diperlukan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai output daya dari sensor piezoelektrik yang dimanfaatkan sebagai sumber energi. Terdapat 2 variasi penyusunan, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel.



Gambar 4. 1 Pembuatan rangkaian seri pizoelektrik



Gambar 4. 2 Pembuatan rangkaian paralel pizoelektrik

Komponen-komponen elektronika yang terdapat pada prototipe antara lain piezoelektrik, dioda, dan kapasitor. Dioda dan kapasitor digunakan untuk membuat rangkaian penyearah yang akan mengubah tegangan output AC menjadi tegangan output DC.



Gambar 4.3 Rangkaian penyearah

#### **4.1.2 Pengambilan data**

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan multimeter digital sebagai alat pengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh prototipe. Pengujian prototipe dengan variasi berat badan pemakai sepatu yang berada pada interval 50 kg sampai 70 kg akan didapatkan data yang menentukan tegangan dan arus output. Selain dengan variasi berat badan pemakai sepatu, pengujian juga dilakukan dengan variasi kecepatan pemakai sepatu, menggunakan variasi kecepatan berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari sejauh 2 km. Proses pengambilan data ada 2 pengujian yang dilakukan dengan masing-masing variasi, yaitu pengujian alat pada rangkaian seri dan rangkaian paralel.

Pengujian dengan variasi berat badan pemakai sepatu dilakukan tanpa menggunakan rangkaian penyearah pada rangkaian seri maupun rangkaian paralel. Hal ini bertujuan agar prototipe mampu menghasilkan output maksimal dari piezoelektrik. Sedangkan pengujian dengan variasi kecepatan pemakai sepatu dilakukan dengan menggunakan rangkaian penyearah pada rangkaian seri maupun rangkaian paralel. Hal ini bertujuan agar prototipe mampu menghasilkan output yang lebih stabil dari piezoelektrik. Kapasitor pada rangkaian penyearah akan sekaligus menjadi penyimpanan output sementara dari prototipe.

#### 4.1.2.1 Data hasil pengukuran daya dengan variasi berat badan

Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian seri dan paralel adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Pengujian rangkaian seri dengan variasi berat badan

No	Berat Badan (Kg)	Tegangan (V)	Arus ( $\mu$ A)	Daya ( $\mu$ W)
1	50	1,4	0,9	1,26
2	60	1,42	1,24	1,76
3	70	1,45	1,54	2,23

Tabel 4. 2 Pengujian rangkaian paralel dengan variasi berat badan

No	Berat Badan (Kg)	Tegangan (V)	Arus ( $\mu$ A)	Daya ( $\mu$ W)
1	50	3,97	9,1	36,13
2	60	4,4	9,36	41,18
3	70	4,62	9,52	43,98

#### 4.1.2.2 Data hasil pengukuran daya dengan variasi kecepatan

Pengujian ini dilakukan dengan 3 kali pengulangan, sehingga menghasilkan nilai output yang bervariasi dan dapat diambil nilai rata-ratanya. Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian seri adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Pengujian pertama rangkaian seri dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	4,3	0,47	2,02
2	Berjalan cepat	4,1	0,44	1,8
3	Berlari	4,82	0,53	2,55

Tabel 4. 4 Pengujian kedua rangkaian seri dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	4,28	0,42	1,8
2	Berjalan cepat	4,05	0,4	1,62
3	Berlari	4,77	0,5	2,39

Tabel 4. 5 Pengujian ketiga rangkaian seri dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	4,46	0,36	1,61
2	Berjalan cepat	3,87	0,36	1,39
3	Berlari	4,56	0,4	1,82

Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian paralel adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Pengujian pertama rangkaian paralel dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	8,45	3,7	31,27
2	Berjalan cepat	7,72	3,38	26,09
3	Berlari	9,45	4,12	38,93

Tabel 4. 7 Pengujian kedua rangkaian paralel dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	8,18	3,27	26,75

2	Berjalan cepat	7,6	3,14	23,86
3	Berlari	9,31	3,91	36,4

Tabel 4. 8 Pengujian ketiga rangkaian paralel dengan variasi kecepatan

No	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	Berjalan biasa	8,13	2,94	23,9
2	Berjalan cepat	7,54	3	22,62
3	Berlari	9,28	3,38	31,37

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengukuran daya dengan variasi berat badan

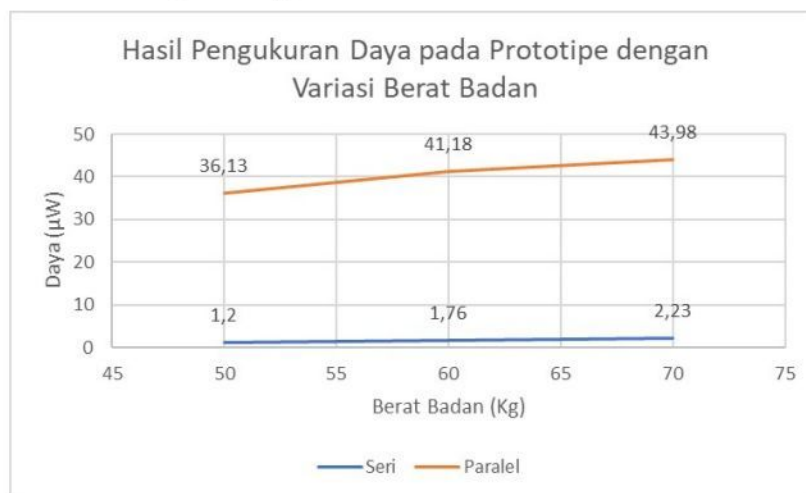
Pengujian dengan variasi berat badan pemakai sepatu dilakukan dengan memberi tekanan berupa beban 50 kg; 60 kg; dan 70 kg pada rangkaian prototipe. Untuk mendapatkan hasil tegangan pengukuran dilakukan dengan multimeter dihubungkan secara paralel dengan prototipe, sedangkan untuk mengukur arusnya multimeter dihubungkan secara seri dengan prototipe dan diberikan beban berupa led.

Berdasarkan pengujian rangkaian seri dengan variasi berat badan sesuai tabel 4.1 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data tersebut merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi berat badan berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan berat badan 50 kg didapatkan tegangan sebesar 1,4 V dan arus sebesar 0,9  $\mu$ A sehingga menghasilkan daya sebesar 1,26  $\mu$ W. Pengujian kedua menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 1,42 V dan arus sebesar 1,24  $\mu$ A sehingga menghasilkan daya sebesar 1,76  $\mu$ W. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 70 kg didapatkan tegangan sebesar 1,45 V dan arus sebesar 1,54  $\mu$ A sehingga menghasilkan daya sebesar 2,23  $\mu$ W.

Berdasarkan pengujian rangkaian paralel dengan variasi berat badan sesuai tabel 4.2 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian paralel. Data tersebut merupakan pengujian rangkaian paralel dengan 3 variasi berat

badan berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan berat badan 50 kg didapatkan tegangan sebesar 3,97 V dan arus sebesar 9,1  $\mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar 36,13  $\mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 4,4 V dan arus sebesar 9,36  $\mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar 41,18  $\mu\text{W}$ . Pengujian ketiga menggunakan berat badan 70 kg didapatkan tegangan sebesar 4,62 V dan arus sebesar 9,52  $\mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar 43,98  $\mu\text{W}$ .

Data yang dihasilkan dari pengujian dengan variasi berat badan menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar. Walaupun ada beberapa yang mengalami penurunan namun tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Namun perbedaan yang besar terlihat pada perbedaan penyusunan rangkaian prototipe antara rangkaian seri dan rangkaian paralel. Kedua data pengujian diatas dapat dilihat perbedaan dari gambar grafik berikut:



Gambar 4. 4 Grafik hasil pengukuran daya pada prototipe dengan variasi berat badan

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan nilai daya dari prototipe dengan rangkaian seri dan prototipe dengan rangkaian paralel dengan variasi berat badan. Pengujian pertama menggunakan prototipe dengan rangkaian seri didapatkan output daya sebesar 1,26  $\mu\text{W}$ , 1,76  $\mu\text{W}$ , dan 2,23  $\mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan prototipe dengan rangkaian paralel didapatkan output daya sebesar 36,13  $\mu\text{W}$ , 41,18  $\mu\text{W}$ , dan 43,98  $\mu\text{W}$ .

Berdasarkan grafik diatas, semakin bertambahnya berat badan yang memberi tekanan pada sensor piezoelektrik, nilai daya yang dihasilkan menjadi

semakin besar juga. Hal ini menjelaskan tentang hubungan efek perilaku listrik material dengan Hukum Hooke. Ketika piezoelektrik diberi sebuah tekanan, maka material piezoelektrik akan meregang yang mengakibatkan perpindahan densitas muatan listrik pada piezoelektrik dan menghasilkan medan listrik.

Sehingga dapat disimpulkan, semakin besar tekanan yang diberikan pada sensor piezoelektrik, maka nilai output-nya juga akan semakin besar. Selain itu, pada prototipe dengan rangkaian seri daya yang dihasilkan jauh lebih kecil dari daya yang dihasilkan oleh prototipe dengan rangkaian paralel. Hal ini bisa saja disebabkan oleh sifat piezoelektrik itu sendiri. Ketika mendapatkan tekanan, maka piezoelektrik akan menghasilkan muatan listrik, dan ketika melepaskan tekanan, maka piezoelektrik akan menyerap muatan listrik. Pada prototipe dengan rangkaian seri, aliran muatan listrik harus melalui satu per satu dari piezoelektrik. Ketika dalam keadaan normal, dimana piezoelektrik dapat diberi tekanan secara bersamaan maka jumlah muatan yang dikeluarkan hasilnya bisa maksimal. Sedangkan pada prototipe ini, ada beberapa bagian yang tidak tertekan, sehingga muatan yang dikeluarkan menjadi tidak maksimal (Putra. 2018).

#### **4.2.2 Pengukuran daya dengan variasi kecepatan**

Pengujian dengan variasi kecepatan pemakai sepatu dilakukan dengan memberi tekanan dari pemakai sepatu dengan berat badan 50 kg dengan berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari sejauh 2 km pada rangkaian prototipe yang dihubungkan dengan rangkaian penyearah yang terdapat dioda dan kapasitor didalamnya. Sehingga menghasilkan output tegangan dan arus yang lebih stabil dan dapat menyimpan total output didalam kapasitor tersebut. Untuk mendapatkan hasil tegangan pengukuran dilakukan dengan multimeter dihubungkan secara paralel dengan kapasitor pada rangkaian penyearah, sedangkan untuk mengukur arusnya multimeter dihubungkan secara seri dengan kapasitor pada rangkaian penyearah dan diberikan beban berupa led.

#### **Rangkaian seri:**

Berdasarkan pengujian pertama rangkaian seri dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.3 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan

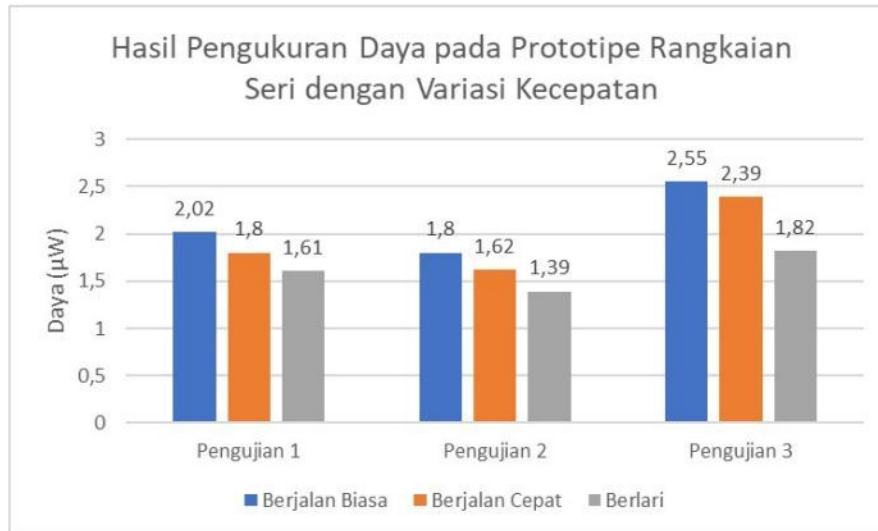
rangkaian seri. Data tersebut merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,3 V dan arus sebesar 0,47 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,02 mW. Pengujian dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 4,3 V dan arus sebesar 0,44 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,8 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 4,82 V dan arus sebesar 0,53 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,56 mW.

Berdasarkan pengujian kedua rangkaian seri dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.4 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data tersebut merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,28 V dan arus sebesar 0,42 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,8 mW. Pengujian dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 4,05 V dan arus sebesar 0,4 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,62 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 4,77 V dan arus sebesar 0,5 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,39 mW.

Berdasarkan pengujian ketiga rangkaian seri dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.5 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data tersebut merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,46 V dan arus sebesar 0,36 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,61 mW. Pengujian dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 3,87 V dan arus sebesar 0,36 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,39 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 4,56 V dan arus sebesar 0,4 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,82 mW.

Data yang dihasilkan dari pengujian pertama sampai ketiga rangkaian seri dengan variasi kecepatan menunjukkan nilai output-nya lebih kecil. Hal ini disebabkan adanya rangkaian penyearah di dalam rangkaian, sehingga nilai output menjadi lebih kecil dan lebih stabil. Selain itu, data hasil pengukuran menunjukkan

perbedaan yang tidak terlalu besar. Walaupun ada beberapa yang mengalami penurunan, namun tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Ketiga data pengujian diatas dapat dilihat perbedaan dari gambar grafik berikut:



Gambar 4. 5Grafik hasil pengukuran daya pada prototipe rangkaian seri dengan variasi kecepatan

Gambar 4.5 menunjukkan perbedaan nilai daya dari prototipe rangkaian seri dengan variasi kecepatan untuk Pengujian pertama sampai ketiga. Pada pengujian pertama didapatkan output daya sebesar 2,02 mW ketika berjalan biasa; 1,8 mW ketika berjalan cepat; dan 2,56 mW ketika berlari. Pengujian kedua didapatkan output daya sebesar 1,8 mW ketika berjalan biasa; 1,62 mW ketika berjalan cepat; dan 2,39 mW ketika berlari. Pengujian ketiga didapatkan output daya sebesar 1,61 mW ketika berjalan biasa; 1,39 mW ketika berjalan cepat; dan 1,82 mW ketika berlari. Berdasarkan grafik diatas, variasi kecepatan terbaik dalam membuat piezoelektrik menghasilkan listrik yaitu dengan berlari. Sehingga kapasitor mampu menyimpan energi listrik yang cukup untuk meningkatkan dan menstabilkan tegangan.

Berdasarkan pengujian diatas dapat disimpulkan, ketika berjalan biasa piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi dan tekanan yang sedang. Ketika berjalan cepat piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi yang lebih tinggi dan tekanan yang lebih rendah, hal ini menyebabkan nilai output daya yang lebih kecil dikarenakan posisi tubuh menjadi lebih condong ke depan dan gaya tekan ke bawah yang digunakan sangat minimal agar dapat meneruskan ke gerakan

selanjutnya. Ketika berlari piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi dan tekanan yang lebih besar, sehingga menghasilkan nilai output daya yang lebih besar dikarenakan memiliki frekuensi injakan yang lebih banyak dan menggunakan gaya tekan ke bawah yang lebih besar (Diniardi, 2018).

### **Rangkaian paralel:**

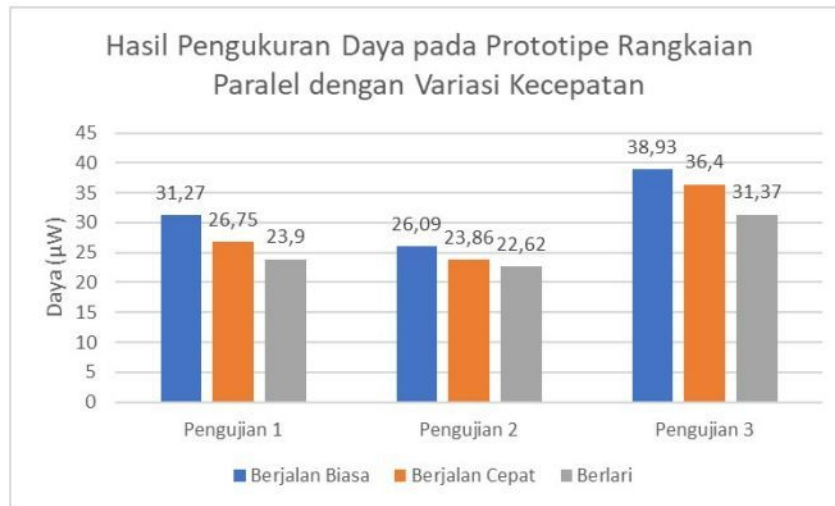
Berdasarkan pengujian pertama rangkaian paralel dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.6 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian paralel. Data di atas merupakan pengujian rangkaian paralel dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,45 V dan arus sebesar 3,7 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 31,27 mW. Pengujian dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 7,72 V dan arus sebesar 3,38 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 26,09 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,45 V dan arus sebesar 4,12 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 38,93 mW.

Berdasarkan pengujian kedua rangkaian paralel dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.7 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian paralel. Data di atas merupakan pengujian rangkaian paralel dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,18 V dan arus sebesar 3,27 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 26,75 mW. Pengujian dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 7,6 V dan arus sebesar 3,14 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 23,86 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,31 V dan arus sebesar 3,91 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 36,4 mW.

Berdasarkan pengujian ketiga rangkaian paralel dengan variasi kecepatan sesuai tabel 4.8 menunjukkan nilai output yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian paralel. Data di atas merupakan pengujian rangkaian paralel dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,13 V dan arus sebesar 2,94 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 23,9 mW. Pengujian dengan kecepatan

berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 7,54 V dan arus sebesar 3 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 22,62 mW. Pengujian dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,28 V dan arus sebesar 3,38 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 31,66 mW.

Data yang dihasilkan dari pengujian pertama sampai ketiga rangkaian paralel dengan variasi kecepatan dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran Daya Pada Prototipe Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan

Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan nilai daya dari prototipe rangkaian paralel dengan variasi kecepatan untuk pertama sampai ketiga pengujian. Pada pengujian pertama didapatkan output daya sebesar 31,27 mW ketika berjalan biasa; 26,09 mW ketika berjalan cepat; dan 38,93 mW ketika berlari. Pengujian kedua didapatkan output daya sebesar 26,75 mW ketika berjalan biasa; 23,86 mW ketika berjalan cepat; dan 36,4 mW ketika berlari. Pengujian ketiga didapatkan output daya sebesar 23,9 mW ketika berjalan biasa; 22,62 mW ketika berjalan cepat; dan 31,37 mW ketika berlari. Berdasarkan grafik diatas, variasi kecepatan terbaik dalam membuat piezoelektrik menghasilkan listrik yaitu dengan berlari. Sehingga kapasitor mampu menyimpan energi listrik yang cukup untuk meningkatkan dan menstabilkan tegangan.

Berdasarkan pengujian diatas dapat disimpulkan, ketika berjalan biasa piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi dan tekanan yang sedang. Ketika berjalan cepat piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi yang lebih tinggi dan tekanan yang lebih rendah, hal ini menyebabkan nilai output daya yang

lebih kecil dikarenakan posisi tubuh menjadi lebih condong ke depan dan gaya tekan ke bawah yang digunakan sangat minimal agar dapat meneruskan ke gerakan selanjutnya. Ketika berlari piezoelektrik mendapatkan input dengan frekuensi dan tekanan yang lebih besar, sehingga menghasilkan nilai output daya yang lebih besar dikarenakan memiliki frekuensi injakan yang lebih banyak dan menggunakan gaya tekan ke bawah yang lebih besar (Diniardi, 2018).

Data yang dihasilkan dari pengujian pertama sampai ketiga rangkaian paralel dengan variasi kecepatan menunjukkan nilai output-nya lebih besar dari rangkaian seri. Hal ini disebabkan, pada rangkaian seri arus setiap piezoelektrik terserap oleh piezoelektrik lainnya. Sehingga menghasilkan nilai output yang tidak maksimal. Berbeda dengan rangkaian paralel, dimana arus setiap piezoelektrik langsung menuju titik pengukuran output. Sehingga menghasilkan nilai output yang lebih besar (Putra. 2018).

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

1. Pengaruh pembebanan tekanan pada sensor piezoelektrik berbanding lurus terhadap besar daya listrik yang dihasilkan. Sehingga, semakin besar tekanan dari berat badan yang diberikan pada sensor piezoelektrik, maka nilai outputnya juga akan semakin besar.
2. Konfigurasi rangkaian seri menghasilkan daya lebih kecil dibandingkan dengan daya yang dihasilkan konfigurasi rangkaian paralel. Hal ini disebabkan, pada konfigurasi rangkaian seri arus setiap piezoelektrik terserap oleh piezoelektrik lainnya. Sehingga menghasilkan nilai output yang tidak maksimal. Berbeda dengan rangkaian paralel, dimana arus setiap piezoelektrik langsung menuju titik pengukuran output. Sehingga menghasilkan nilai output yang lebih besar.

### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian ini antara lain:

1. Perlu adanya pengembangan alat agar lebih efisien sehingga keluaran energi listriknya dapat digunakan secara massal.
2. Perlu dilakukan pengujian piezoelektrik yang terbuat dari bahan dasar yang berbeda seperti Polyvinylidene Difluoride (PVDF).
3. Mencari desain optimal sehingga pengguna sepatu merasa lebih nyaman dan menghasilkan output yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ade, Raja Hendry. 2020. Prototipe pemanfaatan piezoelektrik pada pijakan kaki manusia sebagai sumber energi listrik alternatif. Universitas Islam Indonesia.
- Akmal, Aidil Madia. 2017. Prototipe Alat Penghasil Listrik dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik. Makassar: Universitas Hasanudin Makassar.
- Departemen Agama RI. 2015. Al-Quran dan terjemahan. Bandung: CV. Darus Sunnah.
- Diniardi, Ery dkk. 2018. Analisis Daya Piezoelektrik Model Hybrid Solar Cell-Piezoelectric Skala Rendah. *Jurnal Teknologi*. Vol. 10 No. 2. 139-146. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.10.2.1319-146>.
- Ebrahimi, Farzad. 2013. *Piezoelectric Materials and Devices-Practice And Applications*. Croatia: Rijeka.
- Harikrishnan G., Pisharody. 2011. *An Optimal Design for Piezoelectric Energy Harvesting System*. India: IIITD & M Kancheepuram, IIT Madras Campus Chennai.
- Islami, M. Rizki Aulia, 2022. Pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik pada sepatu untuk pengisian baterai peralatan elektronik berdaya rendah. Universitas Islam Negeri MALIKI Malang.
- Lee, Soobum dan D. Young, Byeng. 2011. *A New Piezoelectric Energy Harvesting Design Concept: Multimodal Energy Harvesting Skin*. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control*, vol. 58, no. 3.
- Maulana, Riza. 2016. Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Energi Pada Sepatu. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Putra, Dimas Ramadhan dkk. 2018. Energi Alternatif Melalui Getaran Beban Mekanis. Seminar Nasional TEKNOKA ke-3. Vol. 3. 8-17.
- Rohman, M. Saifur. 2020. Rantai piezoelektrik sebagai penghasil sumber energi listrik dengan memanfaatkan pijakan kaki. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Serway, A Ramond. 2010. "Rangkaian Listrik" Fisika untuk Sains dan Teknik, 6th edition. Jakarta: Salemba Teknika.
- Susilo D, Firmansyah E, dan Litasari. 2014. Sistem Pemanen Energi dengan Transduser Piezoelektrik untuk Perangkat Daya Rendah. *Jurnal Generic*. Vol. 9 No. 1. 292-300.
- Tichi, Jan. 2010. *"Introduction in Fundamental of Piezoelectric Sensorics"*, 1st edition. Boston: Springer Science Business Media Inc.
- Wahid, Ali G., dan Nahib, Gihan. 2012. *Design Consideration for Piezoelectric Energy Harvesting System*. Riyadh: Electrical Engineering Departmen, College of Engineering, King Saud University, Information Technology Departmen, College of Computer and Information Sciences, King Saud University.

- Wei, Chang Ko dan Ramasamy., Gobby. 2011. *A Hybrid Energy Harvesting System for Small Battery Powered Applications*. Inggris: *Departmen of Electronical and Electronic Engineering, The University of Nottingham*.
- Wibowo, Dwi Basuki. 2018. Pengukuran Distribusi Beban Telapak Kaki Manusia Saat Berdiri Tegak Menggunakan Sensor FSR 402. *Jurnal Teknik Mesin ROTASI*. Vol. 20 No. 1. 22-28.
- William Jr, R Cook. 2010. *Ferroelectric and Piezoelectric Materials*. Amerika Serikat: *Ohio*.
- Young, Hugh D., dan Freedman, Roger A.. 2012. *University Physics With Modern Physics 13th Edition*. San Fransisco: *Pearson Education*.
- Yulia, Elfi., Putra, Eka Permana. 2016. Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkann Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Aouto.Ctrl.Inst)*. Vol. 8 No. 1. 105-113.
- Yulianti, E., Triwahyuni, D., Ahda, S., dan Deswita. 2010. Sintesa dan Karakterisasi Bahan Piezoelektrik Bi<sub>0,5</sub>Na<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> (BNT) dengan Metode Molten Salt. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 14. 13-17.