

**PEMANFAATAN SENSOR PIEZOELEKTRIK SEBAGAI GENERATOR  
LISTRIK PADA SEPATU UNTUK PENGISIAN BATERAI PERALATAN  
ELEKTRONIK BERDAYA RENDAH**

**SKRIPSI**

Oleh:

**MOCH. RIZQI AULIA ISLAMI**  
NIM 15640022



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**PEMANFAATAN SENSOR PIEZOELEKTRIK SEBAGAI  
GENERATOR LISTRIK PADA SEPATU UNTUK PENGISIAN  
BATERAI PERALATAN ELEKTRONIK BERDAYA RENDAH**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**MOCH. RIZOI AULIA ISLAMI  
NIM. 15640022**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

## HALAMAN PERSETUJUAN

PEMANFAATAN SENSOR PIEZOELEKTRIK SEBAGAI  
GENERATOR LISTRIK PADA SEPATU UNTUK PENGISIAN  
BATERAI PERALATAN ELEKTRONIK BERDAYA RENDAH

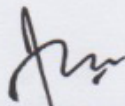
SKRIPSI

Oleh :  
Moch. Rizqi Aulia Islami  
NIM. 15640022

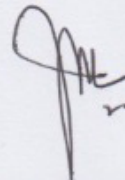
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji,  
Pada tanggal : 30 Mei 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Farid Samsu Hananto, M.T  
NIP. 19740513 200312 1 001



Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A  
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN SENSOR PIEZOELEKTRIK SEBAGAI  
GENERATOR LISTRIK PADA SEPATU UNTUK PENGISIAN  
BATERAI PERALATAN ELEKTRONIK BERDAYA RENDAH

SKRIPSI

Oleh:

Moch. Rizqi Aulia Islami

NIM. 15640022

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada tanggal, 15 Juni 2022

Penguji Utama	: <u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	: <u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	: <u>Dr. Umayyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Moch. Rizqi Aulia Islami

NIM : 15640022

Jurusan : Fisika

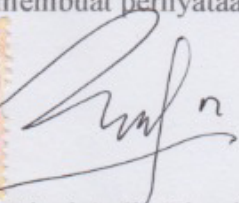
Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik  
Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik  
Berdaya Rendah

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 25 Mei 2022  
Yang membuat pernyataan



  
Moch. Rizqi Aulia Islami  
NIM. 15640022

## MOTTO

***“Kebaikan begitu banyak bertebaran di sekitar kita, dan ia hanya bisa dikenali oleh hati yang sengaja memperhatikannya.”-Erbe Sentanu***

Berjuanglah, sekarang giliranmu. Karena kemarin adalah giliranmu, dan besok adalah giliranmu.

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan mengucapkan Alhamdulillah

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu Hamidah, Bapak Nur Kholis Ibu dan Ayah saya untuk segala dukungan, semangat, dan doa yang setiap hari diberikan sehingga saya dapat hidup dan menjalaninya dengan baik hingga saat ini.
2. Segenap dosen dan pembimbing untuk segala ilmu, dukungan, dan bimbingan yang telah diberikan semoga dapat bermanfaat di dunia dan akhirat.
3. Teman-teman angkatan 2015 Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang untuk segala bantuan dan motivasinya sehingga skripsi ini selesai dengan baik.

Terima kasih atas semangat dan doa yang telah disalurkan kepada saya selama ini, semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manuia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Farid Samsu Hananto, M.T selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
5. Ibu, dan ayah, serta keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
6. Segenap anggota teman-teman Instrumentasi dan Komputasi (ELINS) Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini baik dari segi ide dan waktu.

7. Sahabat-sahabat fisika 2015 yang saya cintai dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, 20 Februari 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>المخلص .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Listrik .....	7
2.1.1 Besaran-Besaran Listrik .....	7
2.2 Gaya Pegas .....	8
2.3 Teori Getaran .....	9
2.4 Teori Piezoelektrik .....	10
2.4.1 Piezoelektrisitas.....	10
2.4.2 Efek Piezoelektrik .....	10
2.4.3 Karakteristik Bahan Piezoelektrik .....	11
2.4.4 Bahan Piezoelektrik .....	12
2.4.5 Persamaan Matematis Piezoelektrik .....	13
2.5 Penyearah dan Regulator.....	15
2.6 Kapasitor .....	19
2.7 Konsep Pengisian Baterai .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	22
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.4 Rancangan Alat .....	23
3.5 Variabel Penelitian .....	24
3.6 Prosedur Penelitian.....	26

3.6.1 Proses Pembuatan Prototipe Rangkaian Seri .....	27
3.6.2 Proses Pembuatan Prototipe Rangkaian Paralel.....	27
3.7 Pengambilan Data .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Perancangan Prototipe.....	29
4.2 Hasil Pengambilan Data.....	30
4.2.1 Data Hasil Pengukuran Daya dengan Variasi Berat Badan.....	31
4.2.2 Data Hasil Pengukuran Daya dengan Variasi Kecepatan.....	34
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran.....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pertambahan Panjang Pegas.....	9
Gambar 2.2	Mekanisme Pegas.....	9
Gambar 2.3	Efek Piezoelektrik.....	12
Gambar 2.4	Penyearah Jembatan.....	16
Gambar 2.5	Penyearah Jembatan (Siklus 1).....	16
Gambar 2.6	Penyearah Jembatan (Siklus 2).....	17
Gambar 2.7	Rangkaian Dioda Zener Sebagai Regulator Tegangan.....	18
Gambar 2.8	Tampak Atas Rangkaian Penyearah dan Regulator.....	18
Gambar 2.9	Tampak Bawah Rangkaian Penyearah dan Regulator.....	19
Gambar 2.10	Rangkaian Menggunakan Kapasitor.....	19
Gambar 3.1	Skema Rangkaian Seri Piezoelektrik.....	23
Gambar 3.2	Skema Rangkaian Paralel Piezoelektrik.....	23
Gambar 3.3	Rangkaian Seri Piezoelektrik di Dalam Sepatu.....	24
Gambar 3.4	Rangkaian Paralel Piezoelektrik di Dalam Sepatu.....	24
Gambar 3.5	Skema Rangkaian Penyearah.....	24
Gambar 3.6	Sepatu Pengisian Baterai Piezoelektrik.....	24
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 4.1	Penyusunan Rangkaian Seri Piezoelektrik.....	29
Gambar 4.2	Penyusunan Rangkaian Paralel Piezoelektrik.....	30
Gambar 4.3	Rangkaian Penyearah.....	30
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengukuran Daya Pada Prototipe Dengan Variasi Berat Badan.....	33
Gambar 4.5	Grafik Hasil Pengukuran Daya Pada Prototipe Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan.....	37
Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengukuran Daya Pada Prototipe Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan.....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Hasil Pengukuran Daya Dengan Variasi Berat Badan .....	8
Tabel 2.2	Data Hasil Pengukuran Daya Dengan Variasi Kecepatan .....	11
Tabel 2.3	Pengujian Rangkaian Seri Dengan Variasi Berat Badan .....	12
Tabel 2.4	Pengujian Rangkaian Paralel Dengan Variasi Berat Badan.....	13
Tabel 3.1	Pengujian Pertama Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan .....	31
Tabel 3.2	Pengujian Kedua Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan.....	32
Tabel 3.3	Pengujian Ketiga Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan.....	34
Tabel 4.1	Pengujian Pertama Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan ....	36
Tabel 4.2	Pengujian Kedua Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan .....	37
Tabel 4.3	Pengujian Ketiga Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan .....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Penelitian.....	45
Lampiran 2: Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....	47
Lampiran 3: Bukti Konsultasi .....	49

## ABSTRAK

Islami, Moch. Rizqi Aulia. 2022. **Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah.** Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T. (II) Dr. Umayyatus Syarifah, M.A.

---

**Kata Kunci:** Piezoelektrik, Tekanan, Berat Badan, Daya.

Telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik pada sepatu untuk pengisian baterai peralatan elektronik berdaya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi dan konfigurasi rangkaian pada sensor piezoelektrik terhadap besar daya listrik yang dihasilkan. Piezoelektrik adalah gabungan dari efek perilaku listrik material dan Hukum Hooke. Hukum Hooke menyebutkan bahwa besarnya tekanan berbanding lurus dengan besarnya regangan material pegas. Sedangkan efek perilaku listrik material menyebutkan bahwa perpindahan densitas muatan listrik berbanding lurus dengan kekuatan medan listrik. Berdasarkan keadaan tersebut, piezoelektrik mampu menghasilkan energi listrik dari sumber tekanan. Variabel penelitian dalam pengambilan data ini adalah variasi tekanan dari kecepatan dan variasi tekanan dari berat badan pemakai sepatu piezoelektrik. Hasil pengambilan data dengan variasi berat badan menghasilkan daya paling besar pada berat badan 72,65 kg. Daya yang dihasilkan mencapai 3,39  $\mu\text{W}$  ketika dirangkai secara seri, dan mencapai 51,22  $\mu\text{W}$  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.

## ABSTRACT

Islami, Moch. Rizqi Aulia. 2022. **Utilization of Piezoelectric Sensors As Electrical Generators In Shoes For Charging Low Power Electronic Equipment Batteries.** Thesis Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T. (II) Dr. Umaiatus Syarifah, M.A.

---

**Keywords:** Piezoelectric, Pressure, Weight, Speed, Power.

Research has been carried out on the use of piezoelectric sensors as electrical generators in shoes to charge batteries for low-power electronic equipment. This study aims to determine the effect of varying pressure loading and configuration of the piezoelectric sensor circuit on the amount of electrical power generated. Piezoelectricity is a combination of the effects of the electrical behavior of materials and Hooke's Law. Hooke's law states that the amount of pressure is directly proportional to the amount of strain in the spring material. While the effect of the electrical behavior of the material is that the displacement of the electric charge density is directly proportional to the strength of the electric field. Based on these conditions, piezoelectric is able to produce electrical energy from a pressure source. The research variables in this data collection are variations in pressure from speed and pressure variations from the body weight of the piezoelectric shoe wearer. The results of data collection with variations in body weight produced the greatest power at 72.65 kg of body weight. The power generated reaches 3.39 W when connected in series, and reaches 51.22 W when connected in parallel. The results of data collection with speed variations as far as 2 km produce the greatest power when running. The power generated reaches 3.28 mW when connected in series, and reaches 41.56 mW when connected in parallel.

## الملخص

إسلامي، محمد رزقي أولياء. ٢٠٢٢. استخدام المستشعرات الكهروضغطية كمولدات كهربائية في الأحذية لشحن بطاريات المعدات الإلكترونية منخفضة الطاقة. قسم الفيزياء بكلية العلوم والتكنولوجيا مولانا مالك إبراهيم مالانج

المشرف: فريد شمس حنانت ماجستير(١)، أمية الشارفة ماجستير(٢)

الكلمات المفتاحية: بيرويلكتريك ، تكانان ، بيرات بادان ، كسيباتان ، دايا

تم إجراء بحث على استخدام أجهزة الاستشعار الكهروضغطية كمولدات كهربائية في الأحذية لشحن البطاريات للمعدات الإلكترونية منخفضة الطاقة. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير تحميل الضغط المتغير وتكوين الدائرة على المستشعر الكهروضغطية على كمية الطاقة الكهربائية المتولدة. الكهرباء الانضغاطية هي مزيج من تأثيرات السلوك الكهربائي للمواد وقانون هوك. ينص قانون هوك على أن مقدار الضغط يتناسب طرديًا مع مقدار الضغط في مادة الزنبرك. بينما ينص تأثير السلوك الكهربائي للمواد على أن إزاحة كثافة الشحنة الكهربائية يتناسب طرديًا مع قوة المجال الكهربائي. بناءً على هذه الظروف ، يمكن للكهرباء الانضغاطية إنتاج طاقة كهربائية من مصدر ضغط. متغيرات البحث في جمع هذه البيانات هي تغيرات الضغط من تغيرات السرعة والضغط من وزن الجسم لمرتدي الحذاء الكهروضغطية. أنتجت نتائج جمع البيانات مع الاختلافات في وزن الجسم أكبر قوة عند ٥٦،٢٧ كجم من وزن الجسم. تصل الطاقة المولدة إلى ٩٣،٣ واط عند التوصيل على التوالي ، وتصل إلى ٢٢،١٥ واط عند التوصيل بالتوازي. تنتج نتائج جمع البيانات مع الاختلافات في سرعة المشي حتى ٢ كم أكبر قوة عند الجري. تصل الطاقة المولدة إلى ٨٢،٣ ميغاواط عند التوصيل على التوالي ، وتصل إلى ٦٥،١٤ ميغاواط عند التوصيل بالتوازي

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era globalisasi saat ini telah banyak memberi manfaat dalam kemajuan di berbagai aspek kehidupan. Penggunaan teknologi khususnya instrumen elektronik mampu membantu menyelesaikan pekerjaan manusia. Namun instrumen elektronik juga memiliki batas masa pakai yang berbeda dengan mengkonsumsi energi listrik yang berbeda-beda.

*Handphone* merupakan salah satu instrumen elektronik yang sangat membantu manusia dalam berkomunikasi untuk kebutuhan sehari-hari. *Handphone* memiliki keunggulan dengan sifatnya yang praktis dan dapat dibawa kemana-mana daripada alat komunikasi lainnya. Namun, penggunaan *handphone* secara terus menerus akan mengurangi daya dari baterai yang digunakan, sehingga mengurangi sifat praktisnya dikarenakan pengguna *handphone* membutuhkan sumber energi listrik untuk mengisi ulang baterai pada kondisi tertentu.

Pengisian baterai *handphone* dilakukan dengan adaptor yang menggunakan sumber daya listrik dari jala-jala PLN yang ada di rumah-rumah. Namun, pada keadaan tertentu pengguna belum tentu berada di rumah atau di tempat yang menyediakan kebutuhan sumber daya listrik. Sehingga pengguna membutuhkan sebuah pengisian baterai yang dapat digunakan dimanapun (Susilo. 2014).

Sumber energi listrik alternatif dalam hal ini yang dapat dimanfaatkan salah satunya adalah dengan memanfaatkan piezoelektrik. 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 untuk mengisi baterai. Sehingga pengguna *handphone* dapat melakukan pengisian baterai dimana saja.

Perubahan energi ini juga telah dijelaskan pada salah satu ayat dalam Q.S Yasin (36):80.

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقَدُونَ

Artinya: “yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, maka seketika itu kamu nyalakan (api) dari kayu itu. (QS. Yasin (36):80)”

Potongan ayat dari surah Yasin tersebut telah jelas menerangkan bahwa Allah SWT dapat menjadikan api dari pohon yang hijau. Menurut kajian ilmiah, api dapat diinterpretasikan sebagai energi yang didapatkan dari pohon yang hijau dalam proses fotosintesis. Proses fotosintesis juga memerlukan cahaya matahari sebagai sumber energi untuk pohon hijau dalam menghasilkan energi yang lainnya seperti oksigen yang dapat dimanfaatkan untuk makhluk hidup lainnya (Zaghloul. 2010). Piezoelektrik ini juga dapat dimanfaatkan seperti pohon hijau dalam proses fotosintesis, yang apabila diberikan sebuah tekanan energi mekanik pada bidangnya

maka akan menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia.

Generator arus listrik ini tidak dapat menghasilkan energi listrik yang cukup besar, namun dapat dipakai untuk menghasilkan listrik sebagai konsumsi daya untuk instrumen elektronik yang memiliki konsumsi daya yang kecil. Generator arus listrik ini dibuat dalam sebuah prototipe berbasis piezoelektrik dengan pemanfaatan gerakan manusia sehingga menjadi sumber energi listrik. Prototipe ini tidak membuat perubahan besar untuk banyak konsumen, akan tetapi hal ini menjadi lebih efisien dan fleksibel untuk konsumen yang sedang melakukan perjalanan dengan berjalan kaki seperti karyawisata, mendaki gunung atau kegiatan lainnya, untuk melakukan pengisian baterai pada keadaan darurat saat itu juga.

Pada penelitian sebelumnya, 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. Pada pengujian alat untuk rangkaian seri dan parallel, digunakan masing-masing 2 objek yang berbeda yaitu pengujian terhadap pijakan manusia dan pengujian terhadap beban selain manusia. 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 berturut-turut 20 kg, 35 kg, 42 kg, 49 kg, 55kg dan 60 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian seri terhadap beban selain pijakan manusia adalah 0,093 V, 0,53 V, 0,73 V, 0,867 V, dan 1,33 V untuk masing-masing berat benda berturut-turut 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg,

dan 5 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian paralel terhadap pijakan manusia adalah 2,23 V, 3,167 V, 3,63 V, 4,13 V, dan 4,6 V untuk masing-masing berat badan berturut-turut 20 kg, 35 kg, 42 kg, 49 kg, dan 55 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 masing-masing berat benda berturut-turut 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg. Tegangan rata-rata yang disimpan kapasitor selama 30 detik setiap 5 detik berturut-turut adalah 0,4 V, 0,9 V, 1,4 V, 1,8 V, 2,4 V dan 2,9 V.

Sedangkan pada penelitian yang lain, dalam penelitian Maulana (2016) dilakukan dengan membuat model prototipe skala kecil yang penyusunannya secara seri dan paralel dimana jumlah sensor piezoelektrik yang digunakan 4 buah pada masing-masing penyusunan. Pengujian sensor piezoelektrik dilakukan dengan memberikan beban 55 kg, 60 kg, dan 65 kg pada tiap penyusunan sehingga didapatkan tegangan dan arus keluaran yang bervariasi. Dari data yang dihasilkan dari pengujian prototipe menunjukkan penyusunan sensor secara paralel memiliki daya keluaran paling maksimal. Data yang didapat dari pengujian sensor piezoelektrik menunjukkan ketika penyusunan secara seri, daya keluaran yang dihasilkan paling tinggi 5,8  $\mu\text{W}$  dengan beban maksimum 65 kg, sedangkan untuk penyusunan sensor secara paralel daya yang dihasilkan mencapai 24,5  $\mu\text{W}$  dari beban 60 kg sebagai indikasi tekanan yang diberikan.

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 untuk melakukan pengisian baterai yang

memiliki konsumsi daya yang rendah. Maka dari itu dirancanglah sebuah prototipe yang memanfaatkan sensor piezoelektrik dan langkah kaki dengan sepatu sebagai alat pijaknya. Sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengisian baterai berdaya rendah yang dapat digunakan dalam keadaan darurat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dikaji dan diteliti dalam penelitian ini antara lain:

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

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

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:

1. Dapat memberikan data sehingga memperoleh hubungan antara konfigurasi rangkaian, dan massa terhadap tegangan yang dihasilkan sensor piezoelektrik.
2. Dapat mengaplikasikan sensor piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik untuk sistem yang lain.
3. Dapat menambah pengetahuan dan juga menambah literatur tentang pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Menggunakan piezoelektrik berbahan dasar *Lead zirconiumtitanate* (PZT) dengan diameter 2 cm untuk mengubah gaya mekanik (tekanan beban) menjadi arus listrik.
2. Tata letak rangkaian piezoelektrik.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 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, energy gerak, dan bentuk-bentuk energi lainnya (Young dan Freedman, 2012).

##### **2.1.1 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 energy 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 energy listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan kiloWatt-hour (kWh).

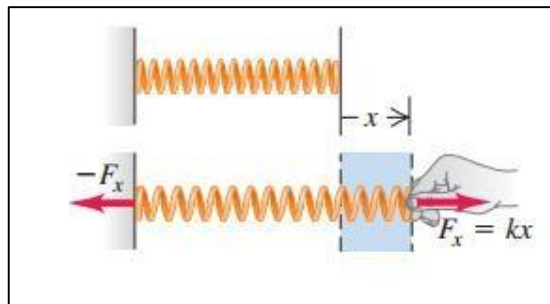
Jaringan listrik AC dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal dengan beberapa jenis jenis bentuk daya, diantaranya adalah daya kompleks, daya aktif, dan daya reaktif. Perkalian tegangan (V) dengan arus (I) dalam kedua besaran ini dalam bentuk kompleks adalah VI yang dinamakan daya kompleks dengan simbol 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).

### 2.2 Gaya Pegas

Benda lentur yang mengalami pemampatan maupun perenggangan maka benda tersebut masuk dalam kategori benda yang memiliki sisi elastisitas. Gaya yang dapat kembali ke keadaan semula disebut gaya pegas. Hal ini dipengaruhi karena sifat elastisitas pada suatu benda sehingga dapat kembali ke keadaan semula (Young dan Freedman, 2012).

Sebuah pegas ketika diregangkan maka harus ada gaya yang diberikan. Menerapkan gaya yang sama dan berlawanan pada ujung-ujung pegas dan meningkatkan gaya-gaya tersebut secara bertahap. Sebuah pegas ketika menahan ujung kiri agar tak bergerak maka gaya yang diterapkan pada ujung ini tidak

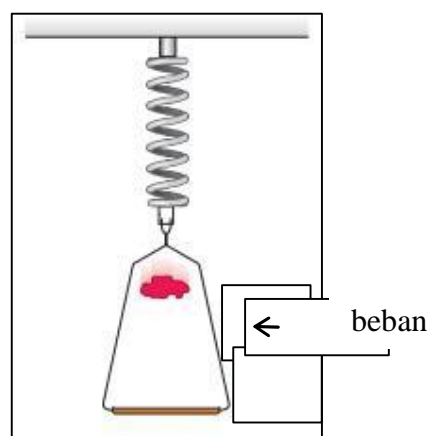
melakukan kerja. Gaya pada ujung yang bergerak karena melakukan kerja sehingga pegas mengalami pertambahan panjang. Ketika tarikan pada ujung pegas dilepas, maka panjang pegas akan kembali ke keadaan semula. Gambaran penjelasan diatas dapat dilihat pada gambar dibawah 2.1 berikut (Young dan Freedman, 2012):



Gambar 2.1 Pertambahan Panjang Pegas (Young dan Freedman, 2012).

### 2.3 Teori Getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awalnya. Ilustrasi yang paling sederhana untuk menjelaskan getaran adalah melalui mekanisme pegas yang diberi beban pada ujungnya, seperti pada gambar 2.2 berikut (Young dan Freedman, 2012):



Gambar 2.2 Mekanisme Pegas (Young dan Freedman, 2012).

Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan properti yang menyerupai pegas. Apabila tidak ada gaya yang diberikan pada beban diujung pegas yang menyebabkan beban tersebut bergerak, maka dapat dikatakan bahwa tidak ada getaran yang terjadi. Oleh karena itu dapat juga dikatakan bahwa getaran adalah merupakan respon dari suatu sistem terhadap eksitasi internal maupun eksternal (stimulus) atau gaya yang diberikan pada sistem tersebut (Young and Freedman, 2012).

## **2.4 Teori Piezoeletrik**

### **2.4.1 Piezoelektrositas**

Piezoelektrositas 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).

### **2.4.2 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):

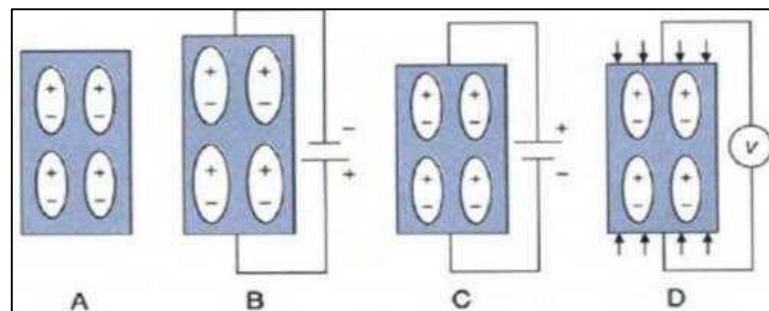
1. *Direct Piezoelectric Effect*
2. *Converse Piezoelectric Effect*

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).

### **2.4.3 Karakteristik Bahan Piezoelektrik**

Bahan Piezoelektrik terbentuk oleh keramik yang terpolarisasi sehingga beberapa bagian molekul bermuatan positif dan sebagian yang lain bermuatan negatif membentuk elektroda-elektroda yang menempel pada dua sisi yang berlawanan dan menghasilkan medan listrik material yang dapat berubah akibat gaya 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 ini disebut electrostriction (efek piezoelektrik) (Ebarahimi, 2013).

Fenomena efek piezoelektrik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3 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.

#### 2.4.4 Bahan Piezoelektrik

Bahan piezoelektrik adalah material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Sebaliknya, jika medan listrik diterapkan, maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis. Bahan piezoelektrik alami diantaranya: Kuarsa (Quartz,  $\text{SiO}_2$ ), Berlinite, Turmalin dan garam Rossel. Bahan piezoelektrik buatan diantaranya: Barium titanate ( $\text{BaTiO}_3$ ), Lead Zirconium Titanate (PZT), Lead Titanate ( $\text{PbTiO}_3$ ) dan lain sebagainya.

Umumnya material piezoelektrik dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu (Harikrishnan G, 2011):

1. Kristal, seperti Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), Gallium Orthophosphate ( $\text{GaPO}_4$ )
2. Keramik, seperti Barium Titanate ( $\text{BaTiO}_3$ ), Lead Zirconate Titanate (PZT)
3. Polimer, seperti Polyvinylidene Difluoride (PVDF)

### 2.4.5 Persamaan Matematis Piezoelektrisitas

Piezoelektrik adalah gabungan dari efek perilaku listrik material (Ebrahimi, 2013):

$$D = \varepsilon E \quad (1)$$

dimana  $D$  adalah perpindahan densitas muatan listrik (perpindahan listrik),  $\varepsilon$  adalah permitivitas, dan  $E$  adalah kekuatan medan listrik, dan Hukum Hooke:

$$S = sT \quad (2)$$

dimana  $S$  adalah regangan,  $s$  adalah *compliance*, dan  $T$  adalah tekanan.

Persamaan diatas dapat digabungkan menjadi apa yang disebut persamaan gabungan, dimana bentuk pengisian regangannya, yaitu (Ebrahimi, 2013):

$$\{S\} = [S^E]\{T\} + [d^t]\{E\} \quad (3)$$

$$\{D\} = [d]\{T\} + [\varepsilon^T]\{E\} \quad (4)$$

dimana  $[d]$  adalah matriks untuk efek piezoelektrik langsung dan  $[d^t]$  adalah matriks untuk efek piezoelektrik sebaliknya. Pangkat E mengindikasikan medan listrik nol, atau konstan. Sedangkan pangkat T menunjukkan tekanan medan nol, atau konstan; dan pangkat t mewakili transposisi dari sebuah matriks.

Muatan regangan untuk material (C4V) (seperti keramik piezoelektrik poles seperti PZT tetragonal atau BaTiO<sub>3</sub>) dan juga kelas kristal 6 mm dapat juga ditulis sebagai berikut (Ebrahimi, 2013):

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}^E & S_{12}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{21}^E & S_{22}^E & S_{23}^E & 0 & 0 & 0 \\ S_{31}^E & S_{32}^E & S_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66}^E = 2(S_{11}^E - S_{12}^E) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{32} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & d_{24} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan hubungan untuk kebalikan efek piezoelektrik dan persamaan (7) untuk efek piezoelektrik langsung.

Persamaan diatas adalah bentuk yang paling sering digunakan dalam literatur, beberapa komentar tentang notasi diperlukan. Umumnya  $D$  dan  $E$  adalah vektor, yaitu tensor *Cartesian* dari rank-1; dan *permittivity*  $\varepsilon$  adalah tensor *Cartesian* dari rank-2. Regangan dan tekanan pada prinsipnya juga berada pada tensor rank-2. Tapi secara konvensional, karena regangan dan tekanan semuanya adalah tensor simetris, tanda regangan dan tegangan dapat dilabel ulang dengan cara berikut: 11  $\rightarrow$  1; 22  $\rightarrow$  2; 33  $\rightarrow$  3; 23  $\rightarrow$  4; 13  $\rightarrow$  5; 12  $\rightarrow$  6. (Konvensi yang berbeda dapat digunakan oleh penulis yang berbeda dalam literatur. Seperti, 12  $\rightarrow$  4; 23  $\rightarrow$  5; 31  $\rightarrow$  6 sebagai gantinya.) Itulah sebabnya  $S$  dan  $T$  tampaknya memiliki “bentuk vektor” dari 6 komponen. Akibatnya,  $s$  tampak sebagai matriks 6 kali 6, bukan tensor rank-4. Notasi relabel seperti itu sering disebut notasi *Voigt* (Ebrahimi, 2013).

Terdapat 4 koefisien piezoelektrik dari total keseluruhan yaitu  $d_{ij}$ ,  $e_{ij}$ ,  $g_{ij}$ , dan  $h_{ij}$  ditolak sebagai berikut (Ebrahimi, 2013):

$$d_{ij} = \left( \frac{\partial D_i}{\partial T_j} \right)^E = \left( \frac{\partial S_i}{\partial E_j} \right)^T \quad (7)$$

$$e_{ij} = \left( \frac{\partial D_i}{\partial S_j} \right)^E = - \left( \frac{\partial T_j}{\partial T_i} \right)^S \quad (8)$$

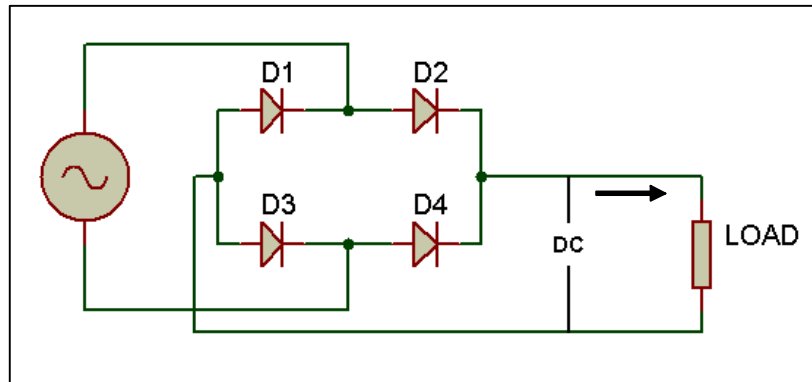
$$g_{ij} = \left( \frac{\partial E_i}{\partial T_j} \right)^D = \left( \frac{\partial S_j}{\partial D_i} \right)^T \quad (9)$$

$$h_{ij} = \left( \frac{\partial E_i}{\partial S_j} \right)^D = \left( \frac{\partial T_j}{\partial D_i} \right)^T \quad (10)$$

Set pertama dari 4 istilah yang berhubungan dengan piezoelektrik langsung dan rangkaian kedua dari 4 istilah berhubungan dengan efek piezoelektrik konvertibel. Sebuah formalism telah digarap untuk Kristal piezoelektrik tersebut, dimana polarisasinya adalah tipe induksi medan kristal, yang memungkinkan perhitungan koefisien piezoelektrik  $d_{ij}$  dari konstanta kisi elektrostatik atau konstanta *Madelung* orde tinggi (Ebrahimi, 2013).

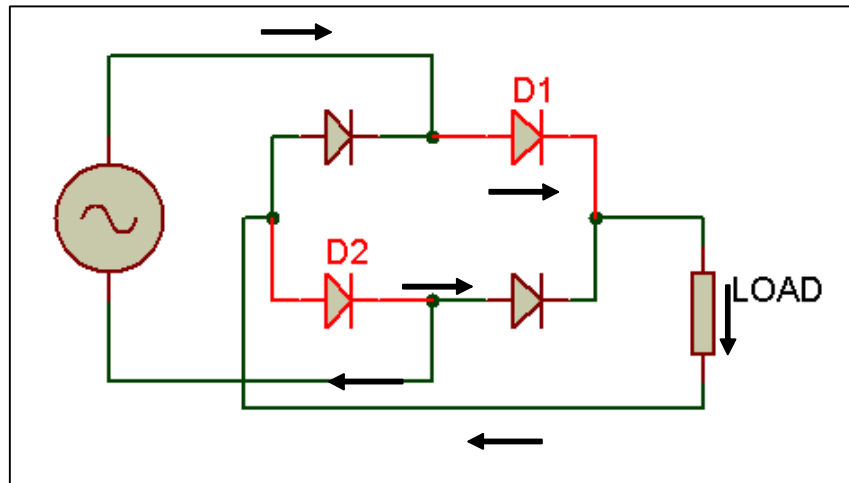
## 2.5 Penyearah dan Regulator

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).

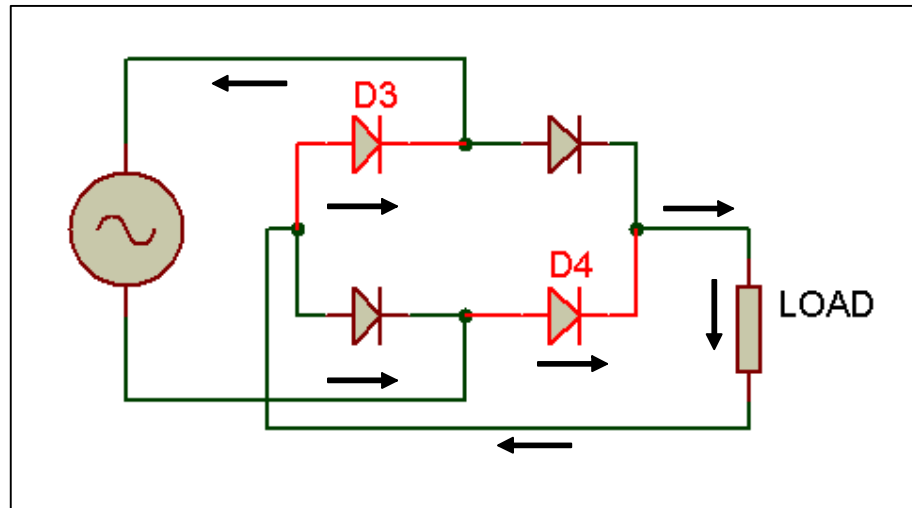
Saat sinyal sinus pada siklus gunung (fase positif) maka titik A lebih positif dari titik B. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari titik A menuju D1 kemudian menuju D2 dan sampai pada titik B. Dalam hal ini katoda D1 menjadi titik positif dan Anoda D2 menjadi titik negatif. Siklus ini membuat dioda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



Gambar 2.5 Penyearah Jembatan (Siklus 1)  
(Serway, 2010).

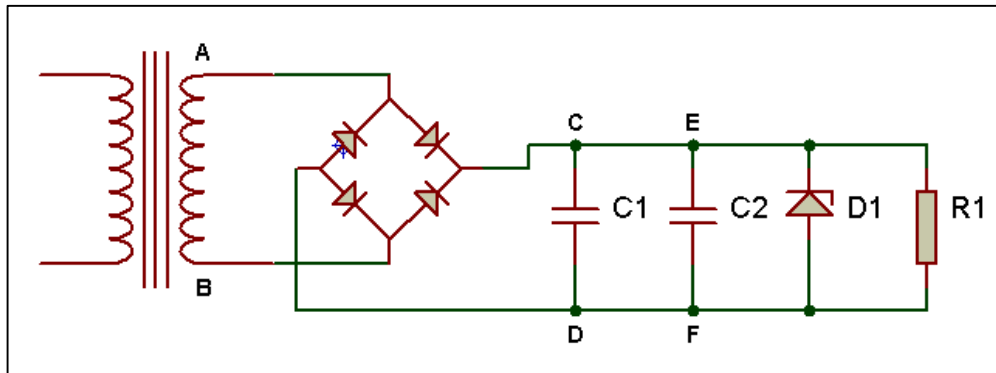
Saat sinyal sinus pada siklus lembah (fase negatif) maka titik B lebih positif dari titik A. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari titik B menuju D3 kemudian menuju D4 dan sampai pada titik A. Dalam hal ini katoda D3 menjadi titik positif

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 Rangkaian Penyearah dan Regulator (Akmal, 2017).



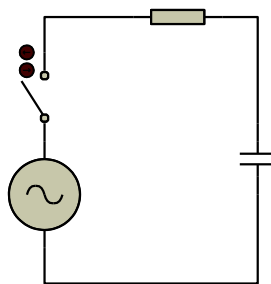
Gambar 2.9 Tampak Bawah Rangkaian Penyearah dan Regulator (Akmal, 2017).

## 2.6 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):

$$Q = C V \quad (11)$$

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



Gambar 2.10 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):

$$V(t) = V(1 - e^{-t/RC}) \quad (12)$$

## 2.7 Konsep Pengisian Baterai

Konsep pengisian baterai terdiri beberapa tahapan. Terdapat dua istilah pengisian baterai yaitu arus konstan dan tegangan konstan. Arus konstan adalah suatu kondisi dimana charger akan memberikan arus pengisian yang tetap selama selang waktu tertentu hingga baterai mencapai suatu nilai tegangan yang ditetapkan. Sedangkan tegangan konstan adalah suatu kondisi dimana ketika baterai sebelumnya sudah mencapai batas tegangan tertentu pada saat terjadi arus konstan, pada kondisi ini tegangan baterai akan dipertahankan hingga harus pengisian baterai mendekati nol (Wei, 2011).

Pada pengisian baterai dengan tegangan konstan terdapat 4 tahapan yaitu: *bulk*, *charge*, *absorption*, *equalizing*, dan *float (triple voltage)*.

1. *Bulk charge (constant current increasing battery voltage)* adalah fasa dimana tegangan pada baterai meningkat pada saat terjadi arus konstan.
2. *Absorption (constant battery voltage decreasing charge current)* adalah fasa dimana baterai sudah mendekati *full* (75%-80%), pada fasa ini baterai akan diisi dengan arus yang lebih kecil hingga mendekati *full*.
3. *Equalizing (constant charge current, increasing battery voltage)* adalah fasa yang biasa dilakukan untuk menyeimbangkan kembali tegangan antar sel-sel baterai (perawatan baterai).
4. *Float (triple voltage)* adalah fasa dimana baterai boleh diisi dalam jangka waktu yang lama, namun karena tegangan baterai dipertahankan tidak terlalu tinggi sehingga masih tetap aman untuk baterai itu sendiri.

Nilai pengaturan tegangan *bulk*, *charge*, *absorption*, *equalizing*, dan *float* (*trigle voltage*) akan berbeda-beda tergantung dari tipe baterai, pada umumnya yang tertera pada baterai (Wei, 2011).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis 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 berat badan pemakai sepatu dan variasi tekanan dengan kecepatan (berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari) dari dengan jarak sejauh 2 kilometer

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di 2 tempat, yaitu Laboratorium Elektronika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang untuk pembuatan prototipe generator listrik, dan halaman depan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang untuk pengambilan data tegangan dari prototipe generator listrik, dan penelitian ini akan dilaksanakan dengan waktu kurang lebih 3 bulan Maret - Mei 2020.

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

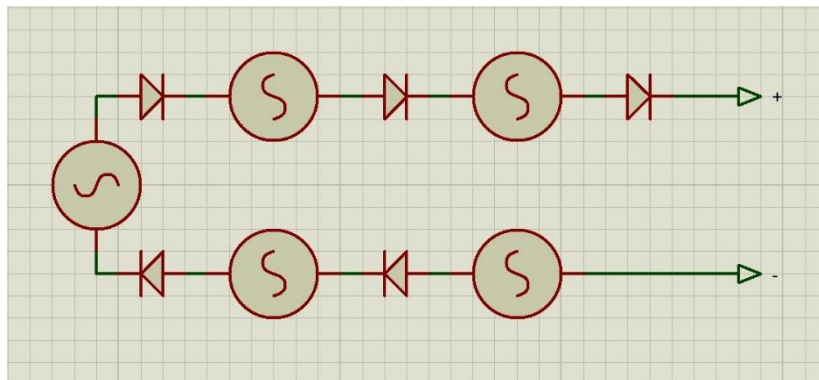
Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| 1. Piezoelektrik keramik diameter 2cm | 10 buah |
| 2. Sepatu ( <i>insole</i> sepatu)     | 1 buah  |
| 3. Kapasitor 100 $\mu$ F, 25 V        | 1 buah  |

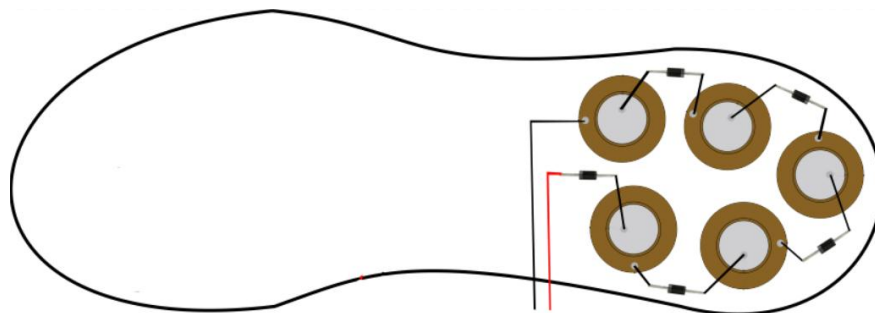
4. Dioda 1N4002 14 buah
5. Kabel penghubung
6. Lem
7. Solder

### 3.4 Rancangan Alat

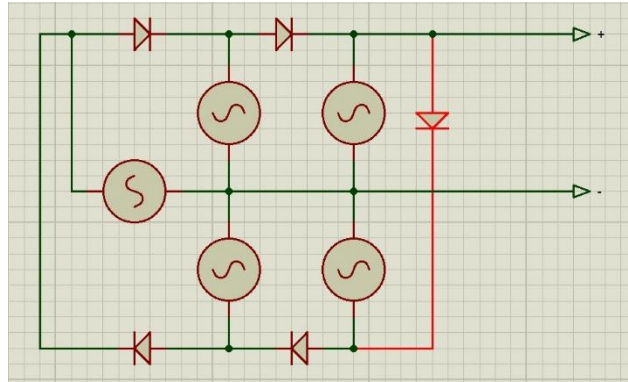
Pembuatan dan perancangan pada prototipe dengan pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai generator listrik terbagi dua, yaitu dengan penyusunan secara seri dan paralel. Perancangan prototipe dengan menyusun beberapa sensor piezoelektrik yang satu dengan yang lain untuk membentuk suatu generator pembangkit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



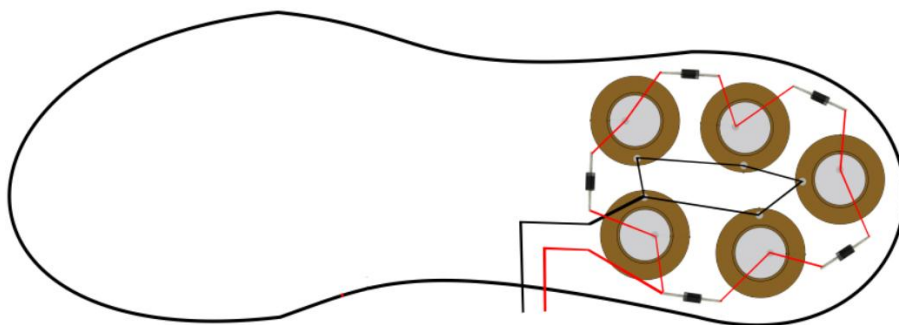
Gambar 3.1 Skema Rangkaian Seri Piezoelektrik



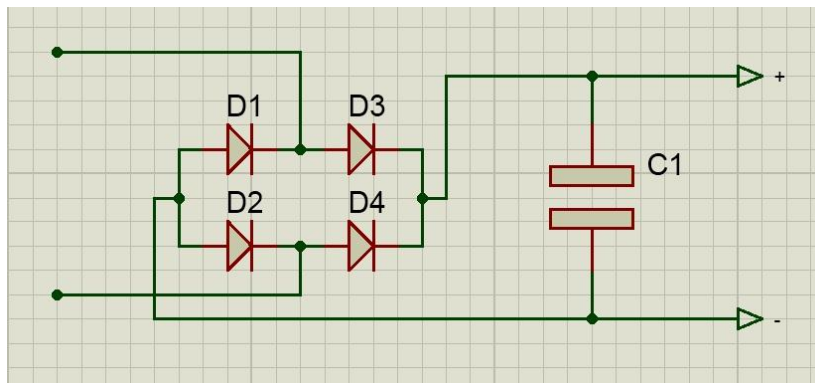
Gambar 3.2 Rangkaian Seri Piezoelektrik di Dalam Sepatu



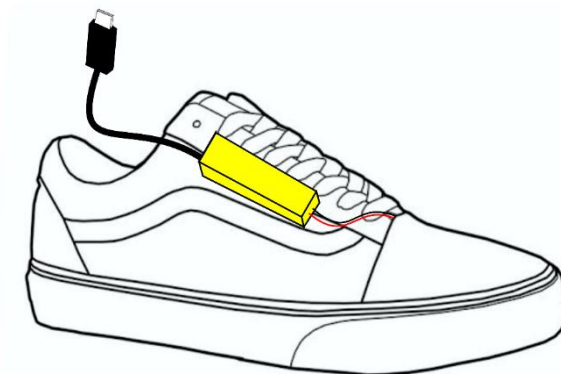
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Paralel Piezoelektrik



Gambar 3.4 Rangkaian Paralel Piezoelektrik di Dalam Sepatu



Gambar 3.5 Skema Rangkaian Penyearah



Gambar 3.6 Sepatu Pengisian Baterai Piezoelektrik

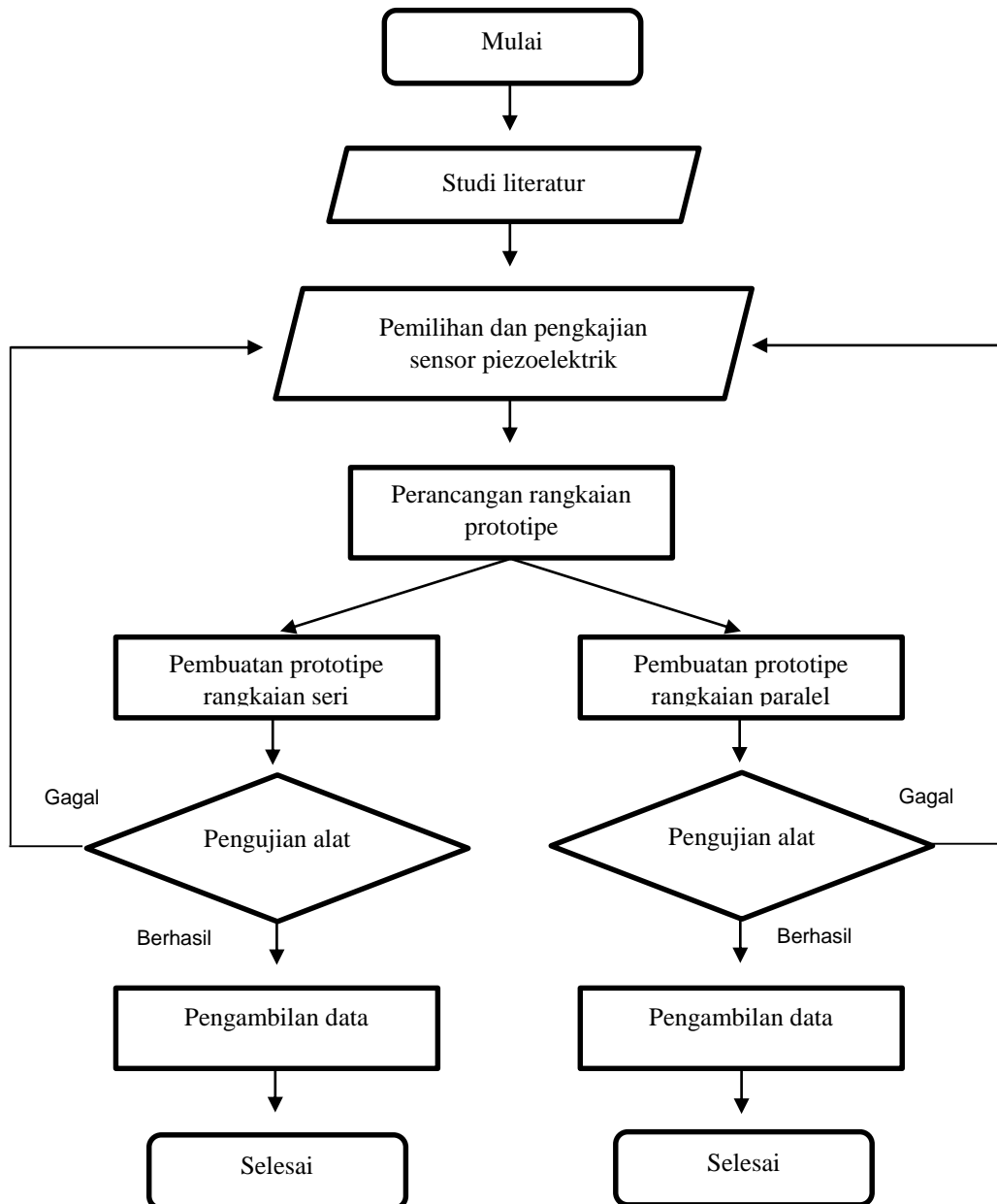
### **3.5 Variabel Penelitian**

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 52,65 kg; 62,65 kg; dan 72,65 kg dengan 10 kali injakan pengulangan. Sedangkan untuk pengujian variasi kecepatan hanya menggunakan beban sebesar 52,65 kg dengan variasi berjalan biasa, berjalan cepat, dan berlari sejauh 2 km.

### 3.6 Prosedur Penelitian

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



Gambar 3.7 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.	52,65			
2.	62,65			
3.	72,65			

Tabel 3.2 Data Hasil Pengukuran Daya Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	Berjalan Biasa			
2.	Berjalan cepat			
3.	Berlari			

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perancangan 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 Penyusunan Rangkaian Seri Piezoelektrik.



Gambar 4.2 Penyusunan Rangkaian Paralel Piezoelektrik

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

#### 4.2 Hasil 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 52,65 kg sampai 72,65 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.

#### 4.2.1 Data Hasil Pengukuran Daya dengan Variasi Berat Badan

Pengujian dengan variasi berat badan pemakai sepatu dilakukan dengan memberi tekanan berupa beban 52,65 kg; 62,65 kg; dan 72,65 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*.

Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian seri 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.	52,65	1,8	1,1	2,01
2.	62,65	1,92	1,44	2,76
3.	72,65	1,95	1,74	3,39

Tabel 4.1 menunjukkan nilai *output* yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data di atas merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi berat badan berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan berat badan 52,65 kg didapatkan tegangan sebesar 1,8 V dan arus sebesar 1,1  $\mu$ A sehingga

menghasilkan daya sebesar  $2,01 \mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan berat badan  $62,65 \text{ kg}$  didapatkan tegangan sebesar  $1,92 \text{ V}$  dan arus sebesar  $1,44 \mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar  $2,76 \mu\text{W}$ . Pengujian ketiga menggunakan berat badan  $72,65 \text{ kg}$  didapatkan tegangan sebesar  $1,95 \text{ V}$  dan arus sebesar  $1,74 \mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar  $3,39 \mu\text{W}$ .

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

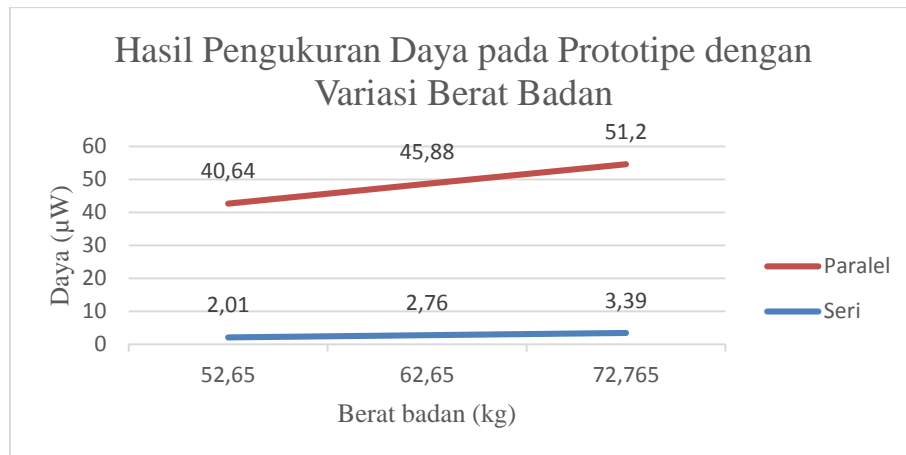
Tabel 4.2 Pengujian Rangkaian Paralel Dengan Variasi Berat Badan

NO.	Berat Badan (Kg)	Tegangan (V)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Daya ( $\mu\text{W}$ )
1.	52,65	4,37	9,3	40,64
2.	62,65	4,8	9,56	45,88
3.	72,65	5,02	10,2	51,2

Tabel 4.2 menunjukkan nilai *output* yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian paralel. Data di atas merupakan pengujian rangkaian paralel dengan 3 variasi berat badan berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan berat badan  $52,65 \text{ kg}$  didapatkan tegangan sebesar  $4,37 \text{ V}$  dan arus sebesar  $9,3 \mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar  $40,64 \mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan berat badan  $62,65 \text{ kg}$  didapatkan tegangan sebesar  $4,8 \text{ V}$  dan arus sebesar  $9,56 \mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar  $45,88 \mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan berat badan  $62,65 \text{ kg}$  didapatkan tegangan sebesar  $5,02 \text{ V}$  dan arus sebesar  $10,2 \mu\text{A}$  sehingga menghasilkan daya sebesar  $51,2 \mu\text{W}$ .

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 2,01  $\mu\text{W}$ , 2,76  $\mu\text{W}$ , dan 3,39  $\mu\text{W}$ . Pengujian kedua menggunakan prototipe dengan rangkaian paralel didapatkan *output* daya sebesar 40,64  $\mu\text{W}$ , 45,88  $\mu\text{W}$ , dan 51,2  $\mu\text{W}$ .

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 Data Hasil Pengukuran Daya dengan Variasi Kecepatan**

Pengujian dengan variasi kecepatan pemakai sepatu dilakukan dengan memberi tekanan dari pemakai sepatu dengan berat badan 52,65 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*.

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 yang pertama adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Pengujian Pertama Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	4,71	0,57	2,68
2.	Berjalan cepat	4,5	0,54	2,43
3.	Berlari	5,22	0,63	3,28

Tabel 4.3 menunjukkan nilai *output* yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data di atas merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,71 V dan arus sebesar 0,57 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,68 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 4,5 V dan arus sebesar 0,54 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,43 mW. Pengujian ketiga dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 5,22 V dan arus sebesar 0,63 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 3,28 mW.

Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian seri yang kedua adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4 Pengujian Kedua Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	4,68	0,52	2,43
2.	Berjalan cepat	4,45	0,5	2,25
3.	Berlari	5,17	0,6	3,11

Tabel 4.4 menunjukkan nilai *output* yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data di atas merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,68 V dan arus sebesar 0,52 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,43 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 4,45 V dan arus sebesar 0,5 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,25 mW. Pengujian ketiga dengan

kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 5,17 V dan arus sebesar 0,6 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 3,11 mW.

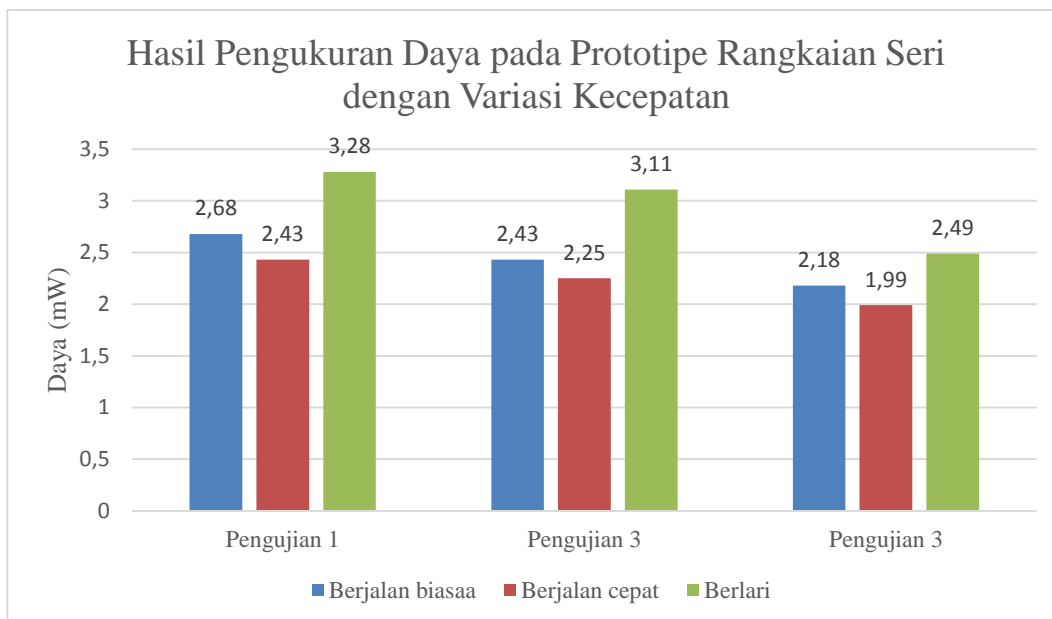
Hasil yang didapatkan pada pengujian prototipe dengan rangkaian seri yang ketiga adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Pengujian Ketiga Rangkaian Seri Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	4,66	0,46	2,18
2.	Berjalan cepat	4,27	0,46	1,99
3.	Berlari	4,96	0,5	2,49

Tabel 4.5 menunjukkan nilai *output* yang dihasilkan prototipe dengan rangkaian seri. Data di atas merupakan pengujian rangkaian seri dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 4,66 V dan arus sebesar 0,46 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,18 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 4,27 V dan arus sebesar 0,46 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 1,99 mW. Pengujian ketiga dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 4,96 V dan arus sebesar 0,5 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 2,49 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 didalam 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 4.5 Grafik 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 2,68 mW ketika berjalan biasa; 2,43 mW ketika berjalan cepat; dan 3,28 mW ketika berlari. Pengujian kedua didapatkan *output* daya sebesar 2,43 mW ketika berjalan biasa; 2,25 mW ketika berjalan cepat; dan 3,11 mW ketika berlari. Pengujian ketiga didapatkan *output* daya sebesar 2,18 mW ketika berjalan biasa; 1,99 mW ketika berjalan cepat; dan 2,49 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).

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

Tabel 4.6 Pengujian Pertama Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	8,85	3,8	33,63
2.	Berjalan cepat	8,12	3,48	28,25
3.	Berlari	9,85	4,22	41,56

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 pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,85 V dan arus sebesar 3,8 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 33,63 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 8,12 V dan arus sebesar 3,48 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 28,25 mW. Pengujian ketiga dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,85 V dan arus sebesar 4,22 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 41,56 mW.

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

Tabel 4.7 Pengujian Kedua Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	8,58	3,37	28,99
2.	Berjalan cepat	8	3,24	25,98
3.	Berlari	9,71	4,01	38,99

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 pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,58 V dan arus sebesar 3,37 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 28,99 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 8 V dan arus sebesar 3,24 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 25,98 mW. Pengujian ketiga dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,71 V dan arus sebesar 4,01 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 38,99 mW.

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

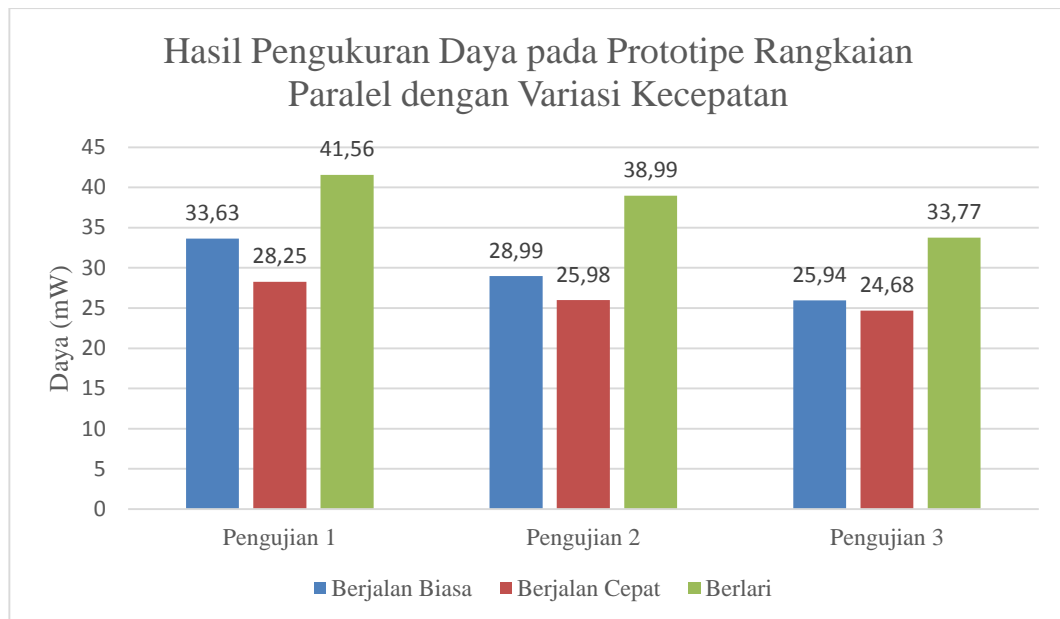
Tabel 4.8 Pengujian Ketiga Rangkaian Paralel Dengan Variasi Kecepatan

NO.	Kecepatan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	Berjalan Biasa	8,53	3,04	25,94
2.	Berjalan cepat	7,94	3,1	24,68
3.	Berlari	9,68	3,48	33,77

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 pertama pada prototipe dengan kecepatan berjalan biasa didapatkan tegangan sebesar 8,53 V dan arus sebesar 3,04 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 25,94 mW. Pengujian kedua dengan kecepatan berjalan cepat didapatkan tegangan sebesar 7,94 V dan arus

sebesar 3,1 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 24,68 mW. Pengujian ketiga dengan kecepatan berlari didapatkan tegangan sebesar 9,68 V dan arus sebesar 3,48 mA sehingga menghasilkan daya sebesar 33,77 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 33,63 mW ketika berjalan biasa; 28,25 mW ketika berjalan cepat; dan 41,56 mW ketika berlari. Pengujian kedua didapatkan *output* daya sebesar 28,99 mW ketika berjalan biasa; 25,98 mW ketika berjalan cepat; dan 38,99 mW ketika berlari. Pengujian ketiga didapatkan *output* daya sebesar 25,94 mW ketika berjalan biasa; 24,68 mW ketika berjalan cepat; dan 33,77 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

- 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.
- 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.
- Serway, A Ramond. 2010. *“Rangkaian Listrik” Fisika untuk Sains dan Teknik, 6<sup>th</sup> 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”, 1<sup>st</sup> 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 13<sup>th</sup> 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.
- Zaghloul El-Naggar. 2010. *Selekta dari Tafsir AYAT-AYAT KOSMOS dalam Al-Qur'an Al-Karim Jilid 2*. Jakarta: Shorouk International Bookshop.

## LAMPIRAN 1

Data Penelitian

Pengukuran Prototipe dengan Variasi Berat Badan (Rangkaian Seri)

BB	V	A( $\mu$ A)	BB	V	A( $\mu$ A)	BB	V	A( $\mu$ A)
52,65	1,75	1,06	62,65	1,89	1,41	72,65	1,93	1,71
	1,79	1,09		1,89	1,41		1,91	1,69
	1,88	1,14		1,89	1,41		1,93	1,71
	1,76	1,07		1,92	1,44		2,02	1,79
	1,76	1,07		1,96	1,47		2	1,78
	1,89	1,15		1,94	1,45		1,92	1,7
	1,86	1,13		1,89	1,41		1,9	1,69
	1,79	1,09		1,92	1,44		1,95	1,73
	1,77	1,07		1,96	1,47		1,93	1,71
	1,75	1,06		1,94	1,45		2,01	1,78
AVG	1,8	1,1	AVG	1,92	1,44	AVG	1,95	1,74

Pengukuran Prototipe dengan Variasi Berat Badan (Rangkaian Paralel)

BB	V	A( $\mu$ A)	BB	V	A( $\mu$ A)	BB	V	A( $\mu$ A)
52,65	4,68	9,9	62,65	4,64	9,23	72,65	4,93	10
	4,32	9,19		5,06	10,07		5,18	10,51
	4,52	9,61		5,06	10,07		4,86	9,86
	3,91	8,32		4,68	9,31		4,94	10,02
	4,01	8,53		4,8	9,55		4,75	9,64
	3,94	8,38		4,69	9,33		5,54	11,24
	4,3	9,15		4,72	9,39		4,85	9,84
	4,49	9,55		4,65	9,25		5,2	10,55
	4,74	10,08		5,02	9,9		4,83	9,8
	4,79	10,19		4,68	9,31		5,12	10,39
AVG	4,37	9,3	AVG	4,8	9,56	AVG	5,02	10,2

## Pengukuran Prototipe dengan Variasi Kecepatan (Rangkaian Seri)

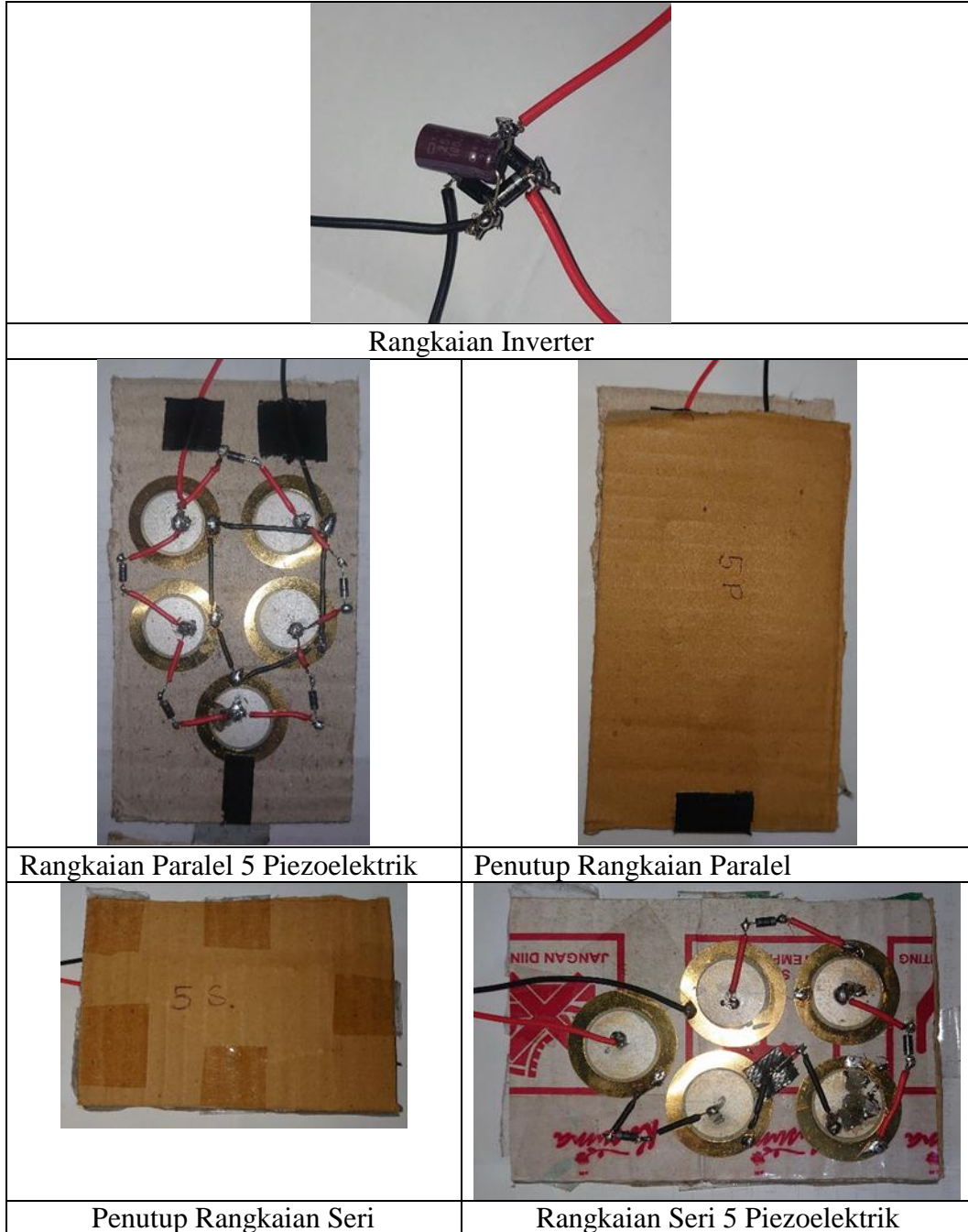
Kecepatan	Hari	V	A(mA)	W(mW)
Berjalan Biasa	H1	4,71	0,57	2,68
	H2	4,68	0,52	2,43
	H3	4,66	0,46	2,18
Berjalan Cepat	H1	4,5	0,54	2,43
	H2	4,45	0,5	2,25
	H3	4,27	0,46	1,99
Berlari	H1	5,22	0,63	3,28
	H2	5,17	0,6	3,11
	H3	4,96	0,5	2,49

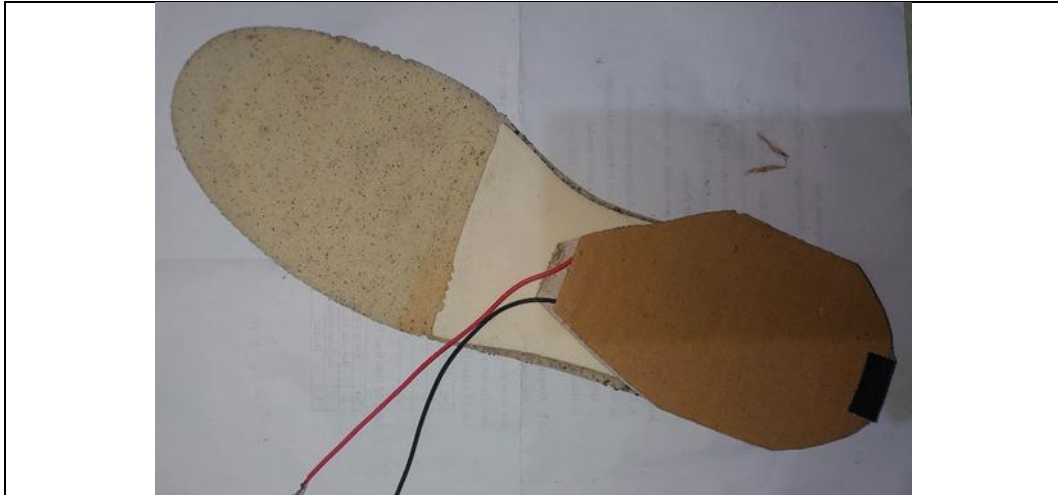
## Pengukuran Prototipe dengan Variasi Kecepatan (Rangkaian Paralel)

Kecepatan	Hari	V	A(mA)	W(mW)
Berjalan Biasa	H1	8,85	3,8	33,63
	H2	8,58	3,37	28,99
	H3	8,53	3,04	25,94
Berjalan Cepat	H1	8,12	3,48	28,25
	H2	8	3,24	25,98
	H3	7,94	3,1	24,68
Berlari	H1	9,85	4,22	41,56
	H2	9,71	4,01	38,99
	H3	9,68	3,48	33,77

## LAMPIRAN 2

Dokumentasi Kegiatan Penelitian  
Foto Pembuatan Prototipe





Pemasangan Rangkaian pada Insole Sepatu



Tampak Dalam Pemasangan Rangkaian pada Sepatu



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

**JURUSAN FISIKA**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933  
Website : <http://fisika.uin-malang.ac.id>, e-mail : [Fis@uin-malang.ac.id](mailto:Fis@uin-malang.ac.id)

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

**Nama** : Moch. Rizqi Aulia Islami  
**NIM** : 15640022  
**Fakultas/Program Studi** : Sains dan Teknologi/Fisika  
**Judul Skripsi** : Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Generator Listrik Pada Sepatu Untuk Pengisian Baterai Peralatan Elektronik Berdaya Rendah  
**Pembimbing 1** : Farid Samsu Hananto, M.T  
**Pembimbing 2** : Dr. Umayatus Syarifah, M.A

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	15 Oktober 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	4 Februari 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III ACC	
3	8 September 2021	Konsultasi Bab I, II, III, dan IV	
4	22 Februari 2022	Konsultasi Bab I, II, III, dan IV ACC	
5	10 Mei 2022	Konsultasi Bab I, II, III, IV, dan V	
6	24 Mei 2022	Konsultasi Bab I, II, III, IV, dan V ACC	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	25 Mei 2022	Konsultasi Integrasi	
2	27 Mei 2022	Konsultasi Integrasi ACC	

Malang, 15 Juni 2022  
Mengetahui,  
Ketua Program Studi,



Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002