

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM KONVERSI ENERGI DENGAN
MEMANFAATKAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI
PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL**



JUNA AULIA HAMSAH

105 82 1336 14

NURHAYATI

105 82 1460 14

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
MAKASSAR**

2019

**PERANCANGAN SISTEM KONVERSI ENERGI DENGAN
MEMANFAATKAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI
PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL**

Skripsi

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh:

JUNA AULIA HAMSAH
105 82 1336 14

NURHAYATI
105 82 1460 14

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2019**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SISTEM KONVERSI ENERGI DENGAN MEMANFAATKAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL**

Nama : 1. Nurhayati
2. Juna Aulia Hamsah

Stambuk : 1. 10582 1460 14
2. 10582 1336 14

Makassar, 19 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

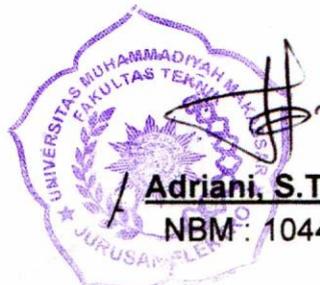
Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Adriani, S.T., M.T

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Nurhayati dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1460 14 dan Juna Aulia Hamsah dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1336 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 17 Juni 2019.

Panitia Ujian :

Makassar,

15 Syawal 1440 H

19 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Umar Katu, S.T.,M.T

b. Sekretaris : Anugrah, S.T.,M.M

3. Anggota

: 1. Antarisubhi, S.T.,M.T

2. Rahmania, S.T.,M.T

3. Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Adriani, S.T.,M.T

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.,IPM
NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah: **"Perancangan Sistem Konversi Energi dengan Memanfaatkan Piezoelektrik sebagai Pembangkit Listrik Skala Kecil"**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu penulis menerima dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanannya terutama dalam bentuk materi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu Adriani, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
4. Universitas Muhammadiyah Makassar
5. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng selaku pembimbing I dan Ibu Adriani, S.T.,M.T selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
6. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
7. Saudara-saudara serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan 2014 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin

Makassar, 18 Mei 2019

Penulis

Juna Aulia Hamsah¹ Nurhayati²

^{1,2}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

E-mail: ¹aualialing050217@gmail.com, ²nurhayati_engineering26@yahoo.co.id

ABSTRAK

Abstrak: Juna Aulia Hamsah dan Nurhayati (2019). Pemanfaatan sumber energi konvensional yang berasal dari bahan fosil mengalami peningkatan seiring dengan kemajuan era teknologi. Hal ini mengakibatkan penurunan dan semakin tipis bahan bakar fosil karena ketersediaannya yang terbatas di alam dan tidak adanya pembaharuan. Sehingga bahan fosil ini tidak memungkinkan untuk terus-menerus diandalkan sebagai energi nasional yang cadangannya kian hari makin menipis. Berbagai usaha dilakukan untuk mencari sumber energi listrik terbarukan, salah satunya dengan pembangkit energi listrik dengan kapasitas mikro yang memanfaatkan energi kinetik pijakan manusia. Pemanfaatan energi kinetik sebagai pembangkit energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan bahan piezoelektrik untuk memberdayakan sumber energi alternatif. Penelitian ini akan membahas proses pembuatan sebuah prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik berbasis piezoelektrik. Dalam penggunaannya, ketika bahan piezoelektrik mendapatkan suatu tekanan maka akan menyebabkan getaran dan memberikan efek kerja pada sensor piezoelektrik. Getaran yang dideteksi oleh piezoelektrik akan merespon energi kinetik yang dihasilkan. Energi kinetik didapatkan dari pijakan manusia yang dikonversikan menjadi bentuk energi listrik. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model prototipe piezoelektrik skala kecil yang penyusunannya secara paralel untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil. Pengujian sensor piezoelektrik dilakukan dengan memberikan beban 34 kg, 40 kg, 45 kg, 52 kg dan 60 kg didapatkan tegangan rata-rata yaitu sebesar 2,41 Volt, 2,51 Volt, 2,56 Volt, 3,06 Volt dan 3,39 Volt.

Kata Kunci: Piezoelektrik, rectifier, energi listrik

Juna Aulia Hamsah¹ Nurhayati²

^{1,2}Product of Electrical Engineeng, Faculty of Engineering, University Muhammadiyah
Makassar

E-mail: ¹aulialing050217@gmail.com, ²nurhayati_engineering26@yahoo.co.id

ABSTRAK

Abstract: Juna Aulia Hamsah and Nurhayati (2019). The use of conventional energy sources derived from fossil materials has increased along with the advancement of the technological era. This resulted in a decrease and thinner fossil fuels because of their limited availability in nature and the absence of renewal. So that this fossil material does not allow it to be continuously relied on as national energy, which reserves are increasingly depleted. Various efforts have been made to find renewable electricity sources, one of which is by generating micro-electric energy that utilizes human footing kinetic energy. The use of kinetic energy as an electric energy generator can be done using piezoelectric materials to empower alternative energy sources. This research will discuss the process of making a prototype of an electric generating device from piezoelectric-based mechanical pressure. In its use, when piezoelectric material gets a pressure it will cause vibration and provide a working effect on the piezoelectric sensor. The vibration detected by piezoelectric will respond to the kinetic energy produced. Kinetic energy is obtained from human footing which is converted into a form of electrical energy. This research was carried out by making a small scale piezoelectric prototype that is arranged in parallel to obtain a stable output voltage. Testing of piezoelectric sensors is carried out by giving a load of 34 kg, 40 kg, 45 kg, 52 kg and 60 kg obtained by an average voltage of 2.41 Volts, 2.51 Volts, 2.56 Volts, 3.06 Volts and 3, 39 Volt.

Key words: Piezoelectric, rectifier, electrical energy

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Batasan Masalah.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	6
F. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Listrik.....	8
B. Pegas.....	10
1. Gaya Pegas.....	10
2. Getaran.....	11
3. Hukum Hooke dan Elastisitas.....	12
C. Rectifier.....	13
1. <i>Half wave rectifier</i>	14

2. <i>Full wave rectifier</i>	16
D. Dasar Teori Piezoelektrik	18
1. Pengertian Piezoelektrik	18
2. Sejarah piezoelektrik	18
3. Material Piezoelektrik	20
4. Efek Piezoelektrik	21
5. Bahan Piezoelektrik.....	22
6. Bentuk Piezoelektrik.....	22
7. Karakteristik Bahan Piezoelektrik	23
8. Persamaan Matematis Piezoelektrik	23
9. Prinsip Kerja Piezoelektrik.....	26
10. Pemanfaatan Bahan Piezoelektrik.....	27
11. Kelemahan Dan Kekurangan Material Piezoelektrik.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	33
1. Alat.....	33
2. Bahan.....	34
C. Skema Penelitian.....	34
D. Langkah Penelitian	35
E. Metode Penelitian	37
1. Mengidentifikasi masalah	37
2. Studi Pustaka	37
3. Pengumpulan alat dan bahan	37
4. Pengujian alat	37
5. Pengambilan data	37
6. Kesimpulan dan saran.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. Proses Pembuatan Prototipe	39

1. Desain Prototipe.....	39
2. Perakitan dan Pembuatan Prototipe.....	39
3. Hasil Pengambilan Data.....	41
BAB V PENUTUP.....	49
A. Kesimpulan.....	49
B. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Pertambahan Panjang Pegas	11
2.2	Mekanisme Pegas	12
2.3	Penyearah setengah gelombang (<i>Half wafe rectifier</i>)	14
2.4	Sinyal <i>output</i> penyearah setengah gelombang	15
2.5	Rangkaian penyearah gelombang penuh 2 dioda	16
2.6	Sinyal <i>output</i> penyearah gelombang penuh	17
2.7	Piezoelektrik	18
2.8	Hubungan beban terhadap piezoelektrik	20
2.9	Konversi elektromekanik dengan fenomena piezoelectricity	21
2.10	Fenomena efek piezoelektrik	21
2.11	Bentuk Piezoelektrik	22
2.12	Piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik	23
2.13	Aplikasi piezoelektrik pada korek api	27
2.14	<i>Piezoelectric</i> sebagai sensor	28
3.1	Diagram skema penelitian	35
3.2	Rancangan pembuatan prototipe	35
3.3	Diagram alir penelitian	36
4.1	Desain prototipe	39
4.2	Pembuatan rangka prototipe	40

4.3	Rangkaian prototipe	41
4.4	Ilustrasi pengujian alat	42



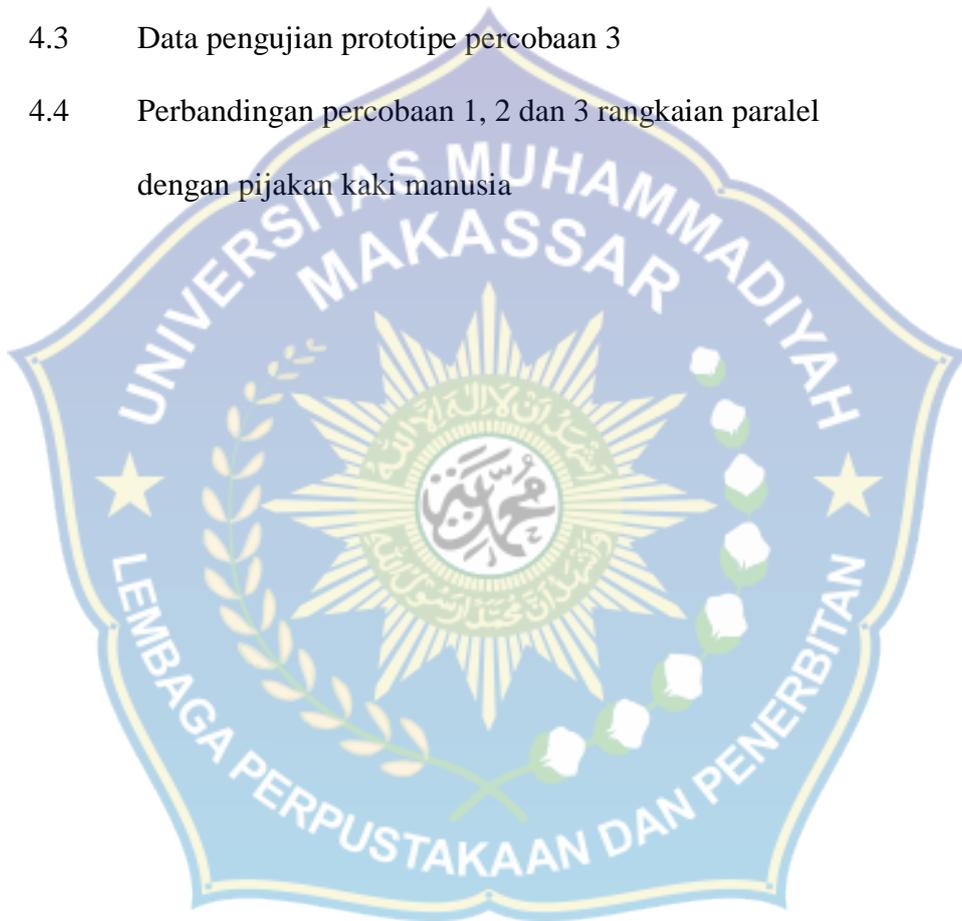
DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
4.1	Data pengujian prototipe percobaan 1	43
4.2	Data pengujian prototipe percobaan 2	44
4.3	Data pengujian prototipe percobaan 3	45
4.4	Tegangan rata-rata dari percobaan 1, 2 dan 3	47



DAFTAR GRAFIK

Grafik	Judul	Halaman
4.1	Data pengujian prototipe percobaan 1	43
4.2	Data pengujian prototipe percobaan 2	44
4.3	Data pengujian prototipe percobaan 3	46
4.4	Perbandingan percobaan 1, 2 dan 3 rangkaian paralel dengan pijakan kaki manusia	46



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
1	Multimeter	53
2	Full wafe rectifier	53
3	Piezoelektrik	54
4	Pegas	54
5	Baterai	55



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi	Definisi dan Singkatan
AC	Alternating current
A	Ampere
BaTiO ₃	Barium titanate
CT	Center tap
D	Dioda
DC	Direct current
F	Gaya
I	Arus
GaPO ₄	<i>Gallium Orthophosphate</i>
K	Konstanta
Kg	Kilo gram
kHz	Kilohertz
LED	Light Emitting Diode
PbTiO ₃	Lead titanate
PZT	Lead zirconium titanate
PVDF	<i>Polyvinylidene Diflouride</i>
SiO ₂	<i>Quartz</i>
V_{avg}	Nilai tegangan rata-rata (setengah gelombang)
Ω	Ohm
ϵ	Permitivitas

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada kenyataannya bahwa minyak bumi dan gas alam tidak memungkinkan untuk terus-menerus diandalkan sebagai energi nasional yang cadangannya kian hari makin menipis. Untuk mengamankan pasokan energi nasional perlu perancangan yang matang tentang energi ini dalam jangka panjang sehingga salah satu usaha pemberdayaan energi *alternative*.

Dengan semakin majunya perkembangan zaman membuat kebutuhan energi listrik makin meningkat. Berbagai usaha dilakukan untuk mencari sumber energi listrik baru, salah satunya dengan pembangkit energi listrik dengan kapasitas mikro yang memanfaatkan energi kinetik pejalan kaki. Pemanfaatan energi kinetik sebagai energi pembangkit energi listrik dengan kapasitas mikro dapat dilakukang dengan menggunakan elemen piezoelektrik.

Melihat beberapa tahun terakhir banyak penelitian dalam mengembangkan sumber energi terbarukan, baik pengembangan sumber energi terbarukan dengan skala besar maupun kecil. Namun beberapa penelitian lebih terfokus pada pengembangan sumber energi skala besar meskipun sumber energinya tak selalu kontiunitas, padahal jika melihat dengan kendala yang dihadapi, sumber energi dengan skala kecil dapat dimanfaatkan salah satunya dengan memanfaatkan langkah kaki manusia. Contoh sumber energi terbarukan dengan skala besar yaitu tenaga

angin, tenaga air, tenaga surya, serta energi ombak sedangkan contoh sumber energi dengan skala kecil diantaranya piezoelektrik, landasan elektrokinetik. Salah satu energi terbarukan yang dikembangkan saat ini adalah pemanfaatan teknologi piezoelektrik, dikarenakan piezoelektrik tidak memiliki zat buang serta sumbernya tersedia melimpah. Piezoelektrik mempunyai kemampuan untuk membangkitkan tegangan listrik bila diberikan gaya mekanik (Wasito, 1997).

Sistem energi terbarukan telah diprioritaskan untuk meminimalkan konsekuensi yang disebabkan oleh sumber daya alam di pembangkit energi seperti pencemaran lingkungan. Pemanfaatan energi listrik terbarukan kini bisa menghasilkan daya yang relatif besar dan mengurangi konsumsi sumber daya alam. Kebutuhan untuk menghemat energi sangat penting karena akan menghasilkan efek positif yang signifikan dalam jangka panjang (M. Aidil, 2017).

Tugas akhir ini bertujuan untuk membahas tentang suatu pembangkit energi listrik terbarukan yang hasil produksi dapat digunakan untuk peralatan dengan konsumsi daya energi rendah (M. Aidill, 2017). Pembangkit listrik energi terbarukan telah diusulkan melalui pijakan kaki yang dapat menghasilkan listrik untuk mengatasi kekurangan akan pasokan ketersediaan energi listrik. Sumber daya listrik diperoleh melalui konversi energi kinetik yang dihasilkan dari gerakan manusia menggunakan pengaturan mekanik dan sistem pemanen piezoelektrik yang bersama-sama dengan sirkuit manajemen daya yang efisien digunakan untuk mengisi baterai. Konsumen dapat menghemat energi listrik yang digunakan dari sumber energi listrik dengan hanya aktivitas sehari-hari meskipun tidak perlu khawatir tentang masa pakai baterai dalam instrument elektronik.

Pembangkit listrik ini tidak akan membuat perubahan yang signifikan pada jumlah sumber daya alam yang besar namun dapat dipakai untuk menghasilkan listrik sebagai konsumsi daya untuk instrumen elektronik bertenaga kecil yang sedikit. Pembangkit listrik ini dibuat dalam sebuah prototipe berbasis piezoelektrik dengan pemanfaatan gerakan manusia sehingga menjadi sumber energi listrik. Prototipe ini tidak membuat perbedaan ketika datang ke jutaan konsumen akan tetapi hal ini akan membantu untuk mengurangi konsumsi energi yang dihasilkan melalui sumber daya alam pada jangka panjang (M. Aidil, 2017).

Teknologi piezoelektrik bisa dimanfaatkan karena teknologi ini memanfaatkan energi mekanik meskipun energi yang di hasilkan cukup kecil. Nilai koefisien muatan piezoelektik berkisar direntang nilai 1 – 100 pico Coloumb/Newton. Kata piezoelektrik berasal dari bahasa Latin, *piezein* yang berarti ditekan dan *electric* yang bermakna energi listrik. Piezoelektrik merupakan sebuah alat yang dapat mengukur gaya maupun tekanan dengan mengubahnya menjadi muatan listrik menggunakan prinsip efek piezoelektrik. Efek piezoelektrik merupakan efek yang terjadi pada sebuah material solid akibat adanya tekanan mekanik sehingga beberapa bagian material yang bermuatan positif dan sebagian bermuatan negatif membentuk elektroda-elektroda yang kemudian menyebabkan terakumulasinya muatan listrik pada material tersebut. Semakin adanya tekanan yang di berikan atau yang diterima pada material piezo tersebut, *output* tegangan yang dihasilkan berubah-ubah, dan keluaran tegangan dari material ini sangat kecil sehingga apabila untuk di jadikan inputan pada suatu sistem akan sulit untuk dibaca (Maulana, 2016).

Bahan piezoelektrik adalah material yang apabila dikenai regangan atau tekanan mekanis dapat menghasilkan medan listrik. Sebaliknya, jika medan listrik diterapkan pada material maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis. Bahan piezoelektrik alami diantaranya: Kuarsa (Quartz, SiO_2), berlinite, turmalin dan garam rossel. Bahan piezoelektrik buatan diantaranya: Barium titanate (BaTiO_3), Lead zirconium titanate (PZT), Lead titanate (PbTiO_3) (Maulana, 2016).

Berdasarkan pada hal tersebut diatas, maka kami mengangkat judul “*Perancangan Sistem Konversi Energi Dengan Memanfaatkan Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik Sekala Kecil*”. Untuk membantu mengatasi solusi kekurangan pasokan energi listrik dengan mengoptimalkan penggunaan bahan piezoelektrik.

B. Rumusan Masalah

Atas dasar penjelasan di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat sebuah prototipe alat penghasil listrik dengan tekanan mekanik menggunakan piezoelektrik?
2. Bagaimana cara mengoptimalkan piezoelektrik untuk membantu mengatasi solusi kekurangan pasokan energi listrik?
3. Bagaimana cara mengidentifikasi seberapa besar keluaran daya yang dihasilkan akibat pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada piezoelektrik?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Membuat prototipe alat penghasil listrik dengan tekanan mekanik menggunakan piezoelektrik.
2. Membantu mengatasi solusi kekurangan pasokan energi listrik dengan mengoptimalkan penggunaan bahan piezoelektrik.
3. Mengidentifikasi seberapa besar keluaran daya yang dihasilkan akibat pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada piezoelektrik.

D. Batasan Masalah

hasil yang dicapai akan optimal jika masalah dalam penulisan ini dibatasi, oleh sebab itu penulis membatasi permasalahan pada:

1. Penelitian ini dibatasi hanya untuk membuat rancangan piezoelektrik sebagai pembangkit listrik skala kecil.
2. Penelitian ini memanfaatkan energi kinetik pejalan kaki menggunakan bahan piezoelektrik sebagai pembangkit listrik skala kecil.
3. Jenis Piezoelektrik yang digunakan yaitu Piezoelektrik yang terbuat dari keramik (PZT).
4. *Rectifier* digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi DC.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Menambah pengetahuan penulis tentang penggunaan piezoelektrik sebagai pembangkit listrik skala kecil.
2. Dapat menjadi referensi tambahan dalam mengatasi kekurangan pasokan energi listrik dengan penggunaan bahan piezoelektrik.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan, penulis membuat sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab Pertama, Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan dari laporan hasil penelitian.

Bab Kedua, Bab ini menjelaskan tentang teori-teori pendukung yang berkaitan dengan judul penelitian.

Bab Ketiga, Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram balok dan gambar rangkaian penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan penelitian.

Bab Keempat, Bab ini menjelaskan tentang hasil dari penelitian, alat dan perhitungan serta pembahasan terkait judul penelitian.

Bab Kelima, Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang simpulan dan saran terkait judul penelitian.

Daftar Pustaka, Berisi tentang daftar sumber referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

Lampiran, Berisi tentang dokumentasi hasil penelitian serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Listrik

Listrik merupakan kondisi dari partikel sub-atomik tertentu seperti elektron dan proton yang menyebabkan penarikan dan penolakan gaya diantaranya. Arus listrik timbul karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai macam sumber energi seperti: energi panas, energi gerak dan bentuk-bentuk energi lainnya.

Besaran-besaran listrik

a. Tegangan listrik

Tegangan listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Tegangan listrik yang dinyatakan dengan satuan volt ini juga sering disebut dengan beda potensial listrik karena pada dasarnya tegangan listrik adalah ukuran perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Rumus tegangan listrik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V = I \cdot R \quad (2.1)$$

Dimana:

V : Tegangan listrik dalam satuan volt (V)

I : Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

R : Hambatan listrik dalam satuan ohm (Ω)

b. Hambatan listrik

Hambatan listrik adalah perbandingan antara tegangan listrik dari suatu komponen elektronik dengan arus listrik yang melewatinya. Hambatan listrik yang mempunyai satuan ohm (Ω) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

Dimana:

R : Hambatan listrik dalam satuan ohm (Ω)

V : Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

I : Arus listrik dalam satuan ampere (A)

c. Arus listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron-elektron, mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik atau Ampere.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.3)$$

Dimana:

I : Arus listrik dalam satuan ampere (A)

V : Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

R : Hambatan listrik dalam satuan ohm (Ω)

d. Daya listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik).

$$P = V \cdot I \quad (2.4)$$

Dimana:

P : Daya listrik dalam satuan watt (W)

V : Tegangan listrik dalam satuan volt (V)

I : Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

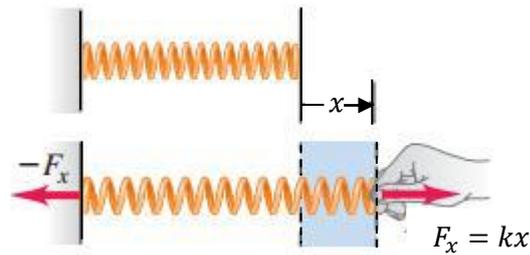
B. Pegas

Pegas merupakan salah satu komponen yang digunakan dalam industri seperti pada otomotif, transportasi dan industri lainnya. Pegas digunakan untuk sistem suspensi, peralatan, perabot dan sebagainya.

1. Gaya Pegas

Benda lentur yang mengalami pemampatan maupun peregangan 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 & 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 tidak 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 2.1 berikut (M. Aidill, 2017).



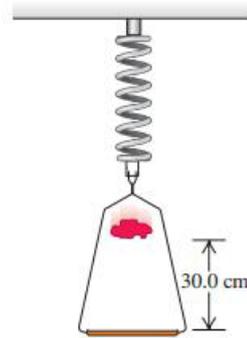
Gambar 2.1 Pertambahan Panjang Pegas

(Young & Freedman, 2012)(M. Aidil, 2017)

Gambar diatas menjelaskan bahwa jika pegas ditarik kekanan maka pegas akan meregang dan bertambah panjang. Pertambahan panjang pegas sebanding dengan besarnya gaya tarik apabila gaya tarik yang diberikan pada pegas tidak terlalu besar. Bertambah besarnya gaya tarik yang diberikan maka semakin besar pertambahan panjang pegas (Young & Freedman, 2012)(M. Aidil, 2017).

2. Getaran

Secara umum getaran dapat didefenisikan 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 & Freedman, 2012)(M. Aidil, 2017).



Gambar 2.2 Mekanisme Pegas

(Young & Freedman, 2012)

Setiap komponen *mekanikal* memiliki berat dan properti yang menyerupai pegas. Apabila tidak ada gaya yang diberikan pada beban ujung 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 dan suatu sistem terhadap eksitasi internal maupun eksternal (stimulus) atau gaya yang diberikan pada system tersebut (K. Andy, 2011).

3. Hukum Hooke dan Elastisitas

“Jika gaya tarik yang diberikan pada sebuah pegas tidak melampaui batas elastic bahan maka pertambahan panjang pegas berbanding lurus/sebanding dengan gaya tariknya”.

Gaya yang diberikan pada suatu benda yang melampau batas elastisitas, maka benda tersebut tidak dapat kembali kedalam bentuk semula dan apabila gaya yang diberikan jumlahnya terus bertambah maka benda tersebut dapat rusak. Hukum Hooke ini hanya berlaku hingga batas elastisitasnya saja (Young & Freedman, 2012)(M. Aidil, 2017).

Hukum Hooke menyelidiki hubungan antara gaya (F) yang meregangkan sebuah pegas dengan pertambahan panjang pegas (Δx), pada daerah batas elastisitas pegas. Pada daerah elastisitasnya, besar gaya luar yang diberikan (F) sebanding dengan pertambahan panjang pegas (Δx). Secara matematis Hukum Hooke dapat ditulis sebagai berikut:

$$F = k \cdot \Delta x \quad (2.4)$$

Keterangan:

F = Besar gaya luar yang diberikan pada pegas (N)

k = Konstanta pegas (N/m)

Δx = Pertambahan panjang pegas dari posisi normalnya (m)

Ketika sebuah pegas diberi gaya luar dengan ditarik, maka pegas akan mengeluarkan gaya yang besarnya sama dengan gaya luar yang menariknya, tetapi arahnya berlawanan (aksi = reaksi). Jika gaya yang diberikan pegas ini disebut gaya pemulih pegas (F_p), gaya pemulih ini juga sebanding dengan pertambahan panjang pegas Δx (Wordpress, 2012). Secara matematis dapat ditulis:

$$F_p = -k \cdot \Delta x \quad (2.5)$$

C. Rectifier

Rectifier atau disebut juga penyearah gelombang adalah sebuah bagian dari catu daya atau power supply. Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *rectifier* masih belum rata dan masih terdapat ripple-ripple tegangan yang cukup besar (Anwar dkk., 2010) sehingga *rectifier* berfungsi untuk mengubah sinyal bolak-balik atau sering disebut juga sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal searah atau sinyal DC (*Direct Current*).

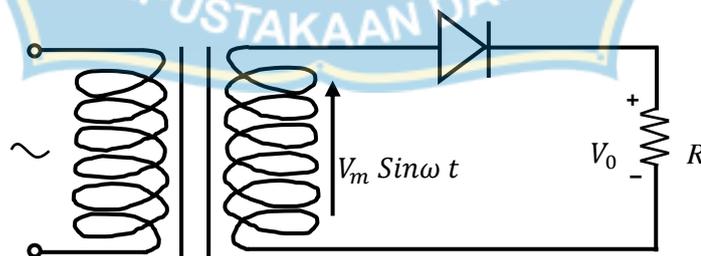
Pada umumnya, penyearah gelombang atau *rectifier* menggunakan diode sebagai komponen utama. Hal ini karena diode memiliki karakteristik yang melewatkan arus listrik hanya ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah yang sebaliknya.

Apabila arus bolak-balik (AC) dialirkan sebuah diode, maka diode tersebut akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombang yang lain akan terblokir.

Rectifier atau penyearah gelombang dibagi menjadi dua jenis yaitu *Half wave Rectifier* atau penyearah setengah gelombang dan *Full wave Rectifier* atau penyearah gelombang penuh.

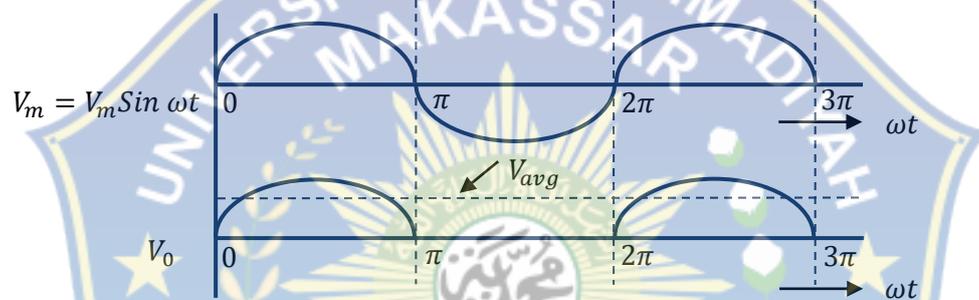
1. *Half wave rectifier*

Half wave rectifier atau penyearah setengah gelombang adalah penyearah gelombang yang paling sederhana. Hal ini dikarenakan cara kerja *rectifier* yang sebagai setengah penyearah gelombang hanya menggunakan satu buah diode sebagai penghambat isi sinyal negatif dari gelombang AC pada Power Supply dan melewatkan sisi sinyal positif.



Gambar 2.3 Penyearah setengah gelombang (*Half wafe rectifier*)

Pada dasarnya arus AC terdiri dari dua sisi gelombang yaitu sisi gelombang positif dan sisi gelombang negatif yang bolak-balik, jika sisi positif sebuah gelombang ada arus AC masuk ke diode, maka akan menyebabkan diode menjadi bisa maju atau *forward* bisa sehingga arus AC akan dilewatkan. Sedangkan sisi negatif arus AC yang masuk akan menyebabkan diode dalam posisi bisa terbalik atau *reverse* bias, sehingga akan menghambat sinyal negatif tersebut. Hal ini terlihat pada gambar 2.4 sinyal *output* penyearah setengah gelombang berikut.



Gambar 2.4 Sinyal *output* penyearah setengah gelombang

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi R} \quad (2.6)$$

dimana:

V_{avg} : Nilai tegangan rata-rata (setengah gelombang)

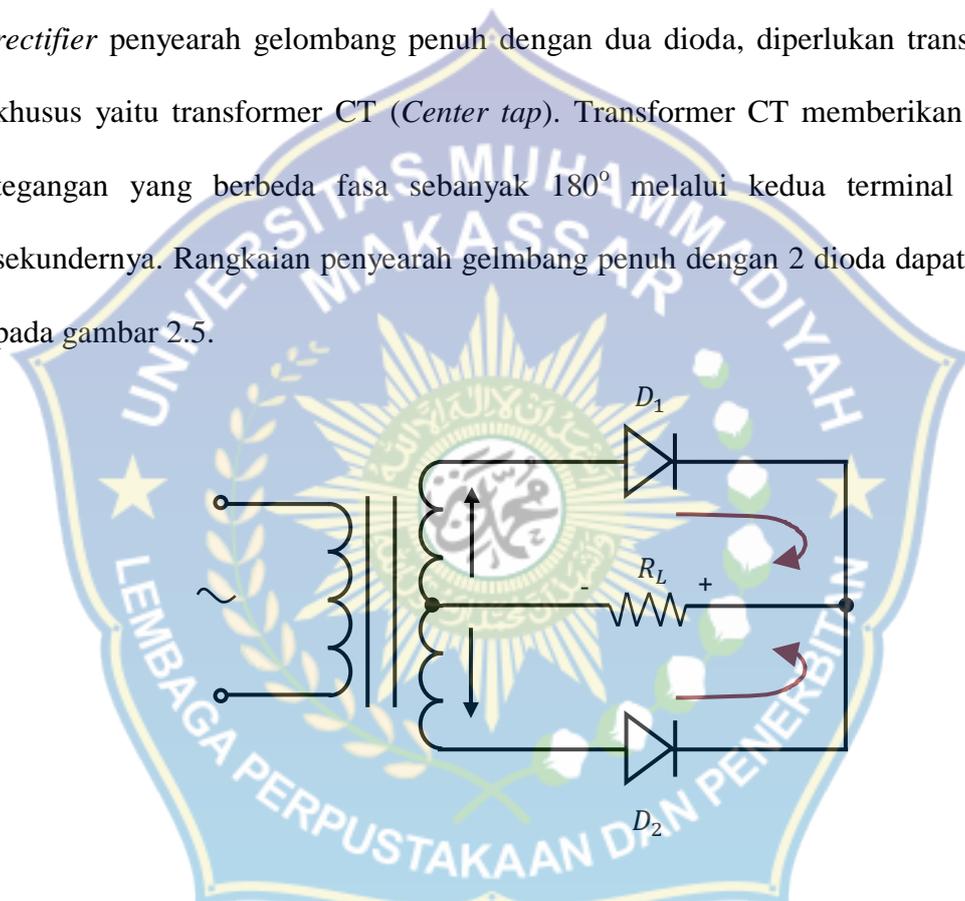
V_m : Tegangan maksimum (Volt)

π : Pi (3,14 atau 22/7)

R : Hambatan (Ω)

2. Full wave rectifier

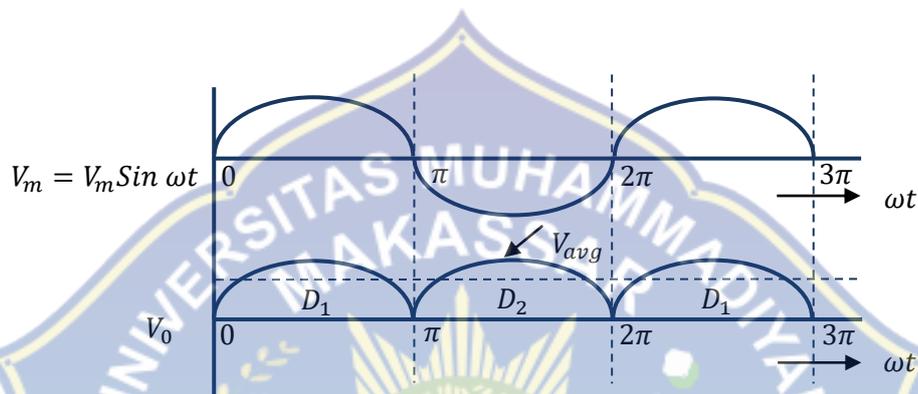
Full wave rectifier atau penyearah gelombang penuh mempunyai dua cara agar penyearah gelombang tersebut terbentuk. Dan kedua cara tersebut tidak lepas dari penggunaan diode sebagai penyearah. Namun dengan jumlah pemakaian diode yang berbeda yaitu dengan dua diode dan empat diode. Pada cara kerja *rectifier* penyearah gelombang penuh dengan dua dioda, diperlukan transformer khusus yaitu transformer CT (*Center tap*). Transformer CT memberikan output tegangan yang berbeda fasa sebanyak 180° melalui kedua terminal output sekundernya. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian penyearah gelombang penuh 2 dioda

Pada saat terminal *output* transformer pada D_1 memberikan sinyal puncak positif maka terminal *output* pada D_2 memberikan sinyal puncak negatif, kondisi ini D_1 pada posisi *forward* dan D_2 pada posisi *reverse*. Sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D_1 . Kemudian pada saat terminal *output* transformator pada D_1 memberikan sinyal puncak negatif maka terminal *output* pada D_2

memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D_1 posisi *reverse* dan D_2 pada posisi *forward*. Sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D_2 . Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.6 sinyal *output* penyearah gelombang penuh berikut.



gambar 2.6 Sinyal *output* penyearah gelombang penuh

Formulasi yang digunakan pada penyearah gelombang penuh sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (2.7)$$

dimana:

V_{avg} : Nilai tegangan rata-rata (setengah gelombang)

V_m : Tegangan maksimum (Volt)

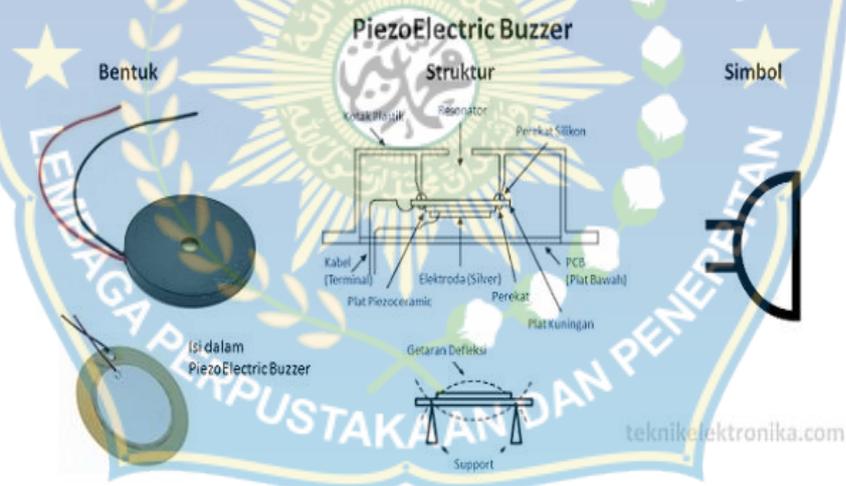
π : Pi (3,14 atau $22/7$)

R : Hambatan (Ω)

D. Dasar Teori Piezoelektrik

1. Pengertian Piezoelektrik

Piezoelektrik didefinisikan sebagai suatu kemampuan yang dimiliki sebagian kristal maupun bahan-bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan tegangan listrik jika mendapatkan perlakuan tekanan atau regangan. Piezoelektrik adalah suatu efek yang *reversibel*, dimana terdapat efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*) yaitu produksi potensial listrik akibat adanya tekanan mekanik dan efek piezoelektrik balikan (*converse piezoelectric effect*) yaitu produksi tekanan akibat pemberian tegangan listrik yang menghasilkan perubahan dimensi (Triwahyuni, 2010).



Gambar 2.7 Piezoelektrik

2. Sejarah piezoelektrik

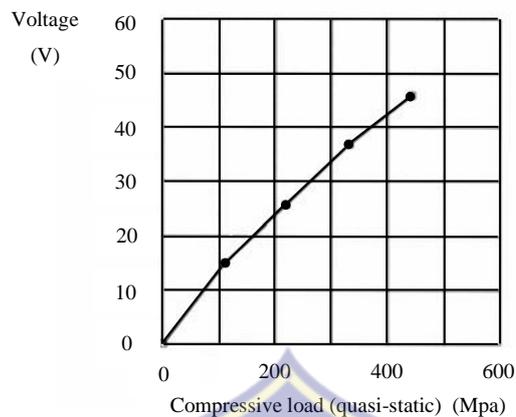
Piezoelektrik berasal dari bahasa latin, *piezein* yang berarti diperas atau ditekan dan *piezo* yang bermakna di dorong. Bahan piezoelektrik ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Currie. Kata *Piezo*

berarti tekanan, sehingga efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik.

Jacques dan Currie menemuka fenomena piezoelektrik pada tahun 1880, dimana piezoelektrik merupakan kategori material yang mempunyai sifat unik. Penerapan stress pada Kristal piezoelektrik akan membangkitkan listrik karena terjadinya polarisasi muatannya (Hidayatullah dkk., 2016).

Jacques dan Pierre Currie mengombinasikan pengetahuan akan pizoelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah Kristal pada Kristal turmalin, kuarsa, ratna cempaka dan garam rossel (Hidayatullah dkk., 2016).

Piezoelektrisitas didefinisikan sebagai suatu kemampuan yang dimiliki sebagian Kristal maupun bahan-bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan suatu arus listrik jika mendapat perlakuan tekanan. Efek piezoelektrik adalah efek terjadinya perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Oleh karena itu bahan piezoelektrik sangat dimungkinkan sekali untuk dijadikan converter antara energi listrik dan gerakan mekanis, dapat dilihat pada gambar 2.8 bagaimana hubungan beban mempengaruhi piezoelektrik (Hidayatullah dkk., 2016).



Gambar 2.8 Hubungan beban terhadap piezoelektrik

(Hidayatullah dkk., 2016).

3. Material Piezoelektrik

Material piezoelektrik merupakan material yang terbuat dari silicon atau germanium yang mampu menghasilkan energi listrik ketika mengalami defleksi (*direct piezoelectric*) sebaliknya, saat diberi tegangan akan terdefleksi (*inverse piezoelectric*). Material piezoelektrik dapat mengalami defleksi dengan diberi tekanan secara langsung atau digetarkan melalui media perantara seperti *kantilever*. Pemberian tekanan secara langsung akan menghasilkan tegangan piezoelektrik yang sebanding dengan besar gaya tekan akan tetapi piezoelektrik rentan mengalami kerusakan (Yulia dkk., 2016).

Material piezoelektrik dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu: (1) Kristal, seperti *Quartz* (SiO_2), *Gallium Orthophosphate* (GaPO_4). (2) Keramik, seperti *Barium Titanate* (BaTiO_3), *Lead Zirconate Titanate* (PZT). (3) Polimer, seperti *Polyvinylidene Diflouride* (PVDF) (K. Andy, 2011).

4. Efek Piezoelektrik

Efek piezoelektrik adalah suatu efek yang *reversible*, dimana terdapat efek piezoelektrik langsung (*direct piezoelectric effect*) dan efek piezoelektrik balikan (*converse piezoelectric effect*) (Purwasih, 2010). Efek piezoelektrik secara langsung yaitu menggambarkan bahwa kemampuan suatu material untuk mengubah tekanan mekanis menjadi muatan listrik. Sedangkan efek piezoelektrik terbalik adalah kemampuan membalikan suatu potensial listrik menjadi energi bunyi mekanik (Anwary dkk., 2015). Efek ini dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konversi elektromekanik dengan fenomena *piezoelectricity*

Gambar 2.10 Fenomena efek piezoelektrik (Anwary dkk., 2015).

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

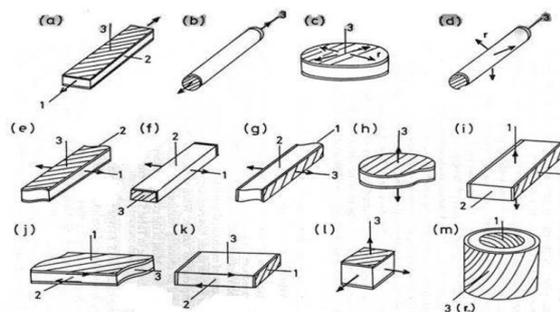
Efek piezoelektrik langsung digunakan untuk menjadikan material berfungsi sebagai sensor dan efek piezoelektrik terbalik digunakan sebagai *actuator*. Sebuah bahan disebut piezoelektrik jika bahan tersebut dapat mengubah energi listrik menjadi energi getar mekanik, demikian juga mengubah getaran mekanik menjadi muatan listrik (Anwary dkk., 2015).

Efek piezoelektrik dapat terjadi jika medan listrik terbentuk ketika materialnya 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 materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi, fenomena tersebut dikenal dengan *electrostriction* (efek piezoelektrik) (Yelfianhar).

5. Bahan Piezoelektrik

Bahan piezoelektrik merupakan material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Bahan piezoelektrik alami diantaranya yaitu: Kuarsa (*Quartz/SiO₂*), Berlinite, Termalin dan Garam rossel. Sedangkan bahan piezoelektrik buatan diantaranya yaitu: Barium titanate (*BaTiO₃*), Lead zirconium titanate (PZT), Lead titanate (*PbTiO₃*) dan seterusnya.

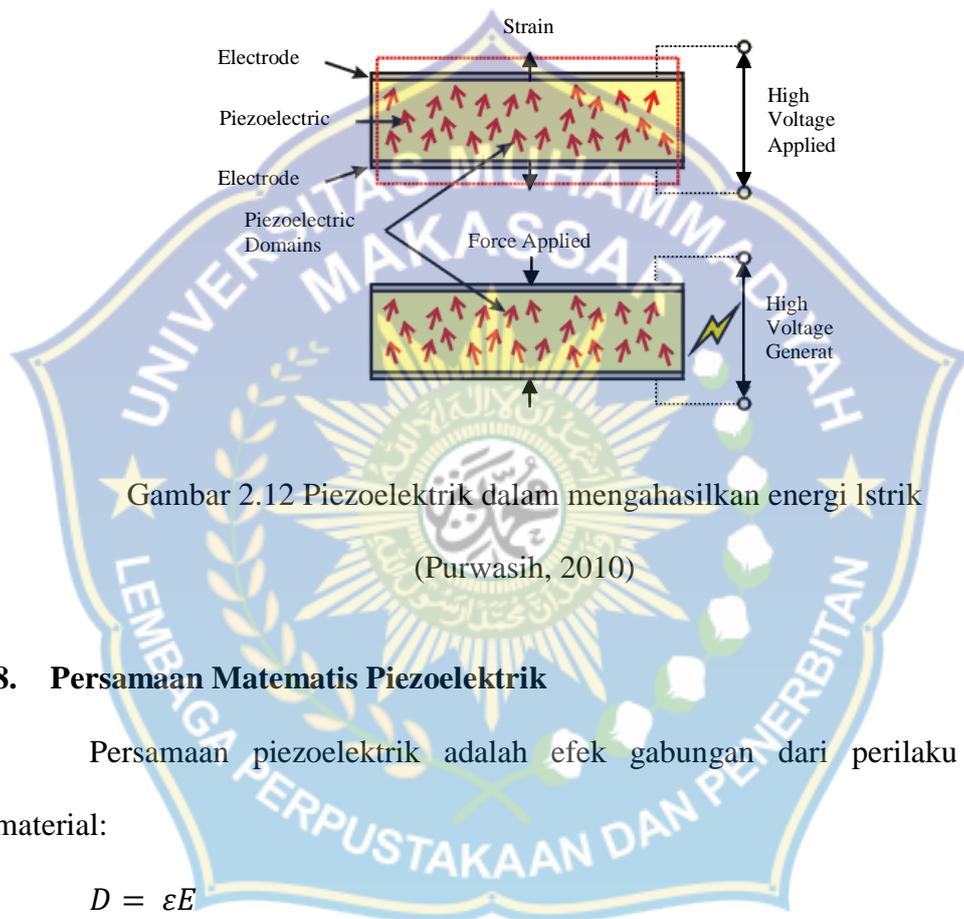
6. Bentuk Piezoelektrik



Gambar 2.11 Bentuk Piezoelektrik (K. Andy, 2011).

7. Karakteristik 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.



Gambar 2.12 Piezoelektrik dalam menghasilkan energi listrik
(Purwasih, 2010)

8. Persamaan Matematis Piezoelektrik

Persamaan piezoelektrik adalah efek gabungan dari perilaku listrik material:

$$D = \epsilon E \quad (2.8)$$

dimana:

D : Perpindahan densitas muatan listrik (pemindahan listrik)

ϵ : Permittivitas

E : Kekuatan medan listrik

Dan Hukum Hooke :

$$S = sT \quad (2.9)$$

dimana:

S : Regangan

s : Kepatuhan

T : Tekanan

Ini dapat dikombinasikan menjadi apa yang disebut persamaan gabungan, di mana bentuk pengisian regangannya adalah:

$$\{S\} = [s^E]\{T\} + [d^t]\{E\} \quad (2.10)$$

$$\{D\} = [d]\{T\} + [\varepsilon^T]\{E\} \quad (2.11)$$

Di mana $[d]$ adalah matriks untuk efek piezoelektrik langsung dan $[d^t]$ adalah matriks untuk efek piezoelektrik sebaliknya (*converse*). Pangkat E menunjukkan 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 kelas kristal 4 mm (C_{4v}) (seperti keramik piezoelektrik yang dipoles seperti tetragonal PZT atau $BaTiO_3$) serta kelas kristal 6 mm juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11}^E & s_{12}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ s_{21}^E & s_{22}^E & s_{23}^E & 0 & 0 & 0 \\ s_{31}^E & s_{32}^E & s_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{55}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66}^E - 2(s_{11}^E - s_{12}^E) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{32} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & d_{24} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Persamaan pertama merupakan hubungan untuk kebalikan efek piezoelektrik dan yang terakhir untuk efek piezoelektrik langsung (Ebrahimi, 2013).

Persamaan di atas 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* ε adalah tensor Cartesian dari rank-2. Regangan dan tegangan pada prinsipnya juga berada pada tensor rank-2. Tapi secara konvensional, karena regangan dan tekanan semuanya adalah tensor simetris, tanda regangan dan tekanan dapat di label ulang dengan cara berikut: 11→1; 22 →2; 33→3; 23→4; 13→5; 12→6. (Konvensi yang berbeda dapat digunakan oleh penulis yang berbeda dalam literatur. Katakanlah, berbeda menggunakan 12→4; 23→5; 31→6 dan 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.

Terdapat 4 koefisien piezoelektrik dari tabel keseluruhan yaitu d_{ij} , e_{ij} , g_{ij} , dan h_{ij} sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_{ij} &= \left(\frac{\partial D_i}{\partial T_j} \right)^E = \left(\frac{\partial S_i}{\partial E_j} \right)^T \\
 e_{ij} &= \left(\frac{\partial D_i}{\partial S_j} \right)^E = - \left(\frac{\partial T_j}{\partial T_i} \right)^S \\
 g_{ij} &= - \left(\frac{\partial E_i}{\partial T_j} \right)^D = \left(\frac{\partial S_j}{\partial D_i} \right)^T \\
 h_{ij} &= - \left(\frac{\partial E_i}{\partial S_j} \right)^D = \left(\frac{\partial T_j}{\partial D_i} \right)^T
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Set pertama dari 4 istilah yang berhubungan dengan efek piezoelektrik langsung dan rangkaian kedua dari 4 istilah berhubungan dengan efek piezoelektrik konvertibel. Sebuah formalisme 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 (M. Aidil, 2017).

9. Prinsip Kerja Piezoelektrik

Ketika medan listrik melewati bagian material, molekul yang di polarisasi akan segera menyesuaikan dengan medan listriknya, menghasilkan dipole yang terinduksi molekul dan struktur kristal materi. Penyesuaian molekul ini akan mengubah material dimensi. Dan inilah yang disebut efek piezoelektrik. Gaya listrik yang dihasilkan medan listrik dari suatu muatan dan usaha gerak mekanis

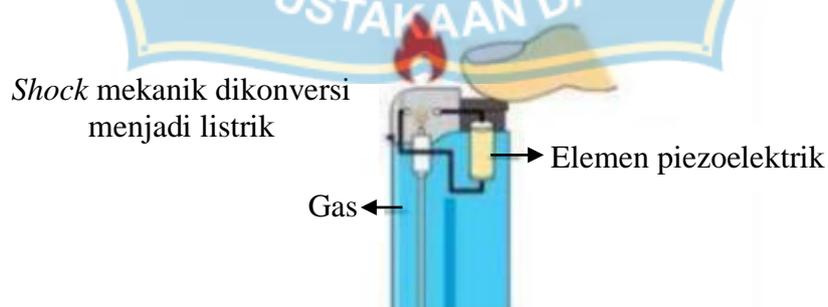
adalah gaya kekal. Karena energi potensial listrik sifatnya berbanding lurus dengan tegangan, maka akan timbul tegangan ketika menekan bahan dielektriknya. Jadi saat memberikan tekanan pada bahan dielektrik maka akan terbentuk medan listrik.

10. Pemanfaatan Bahan Piezoelektrik

a. Penghasil listrik tegangan tinggi

Bahan piezoelektrik dapat menghasilkan listrik pada potensial hingga ribuan volt sehingga banyak digunakan sebagai sumber tegangan tinggi.

Salah satu alat yang bekerja dengan prinsip ini antara lain: pemantik rokok elektrik; menekan tombol menyebabkan palu pegas menabrak kristal piezoelektrik, menghasilkan arus listrik tegangan tinggi yang cukup yang mengalir melintasi celah percikan kecil, sehingga memanaskan dan menyalakan gas. Sparkers portabel yang digunakan untuk menyalakan grills gas atau kompor bekerja dengan cara yang sama dan banyak jenis pembakar gas sekarang memiliki sistem pengapian berbasis piezoelektrik (M. Aidil, 2017).

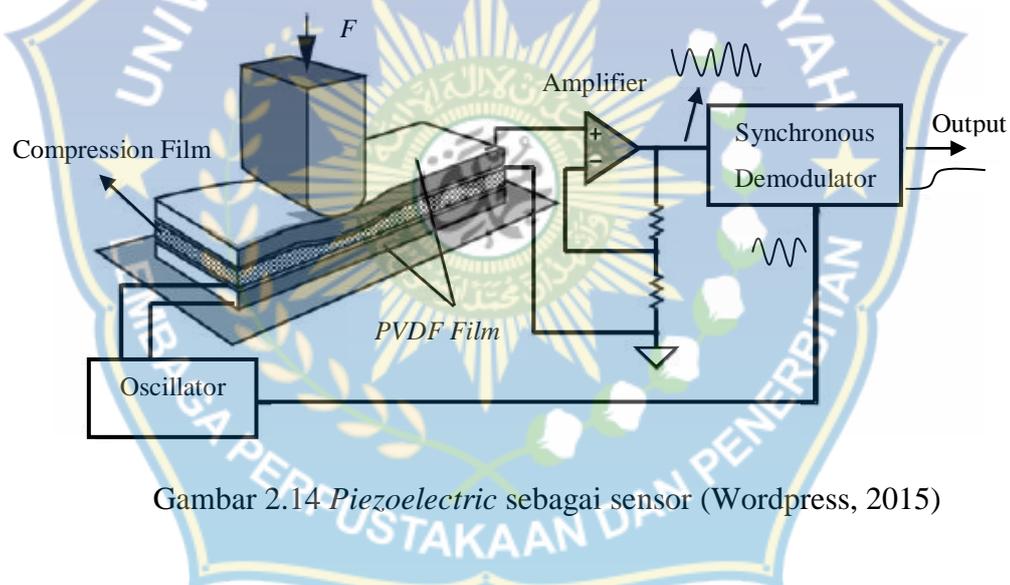


Gambar 2.13 Aplikasi piezoelektrik pada korek api

(M. Aidil, 2017).

b. Sebagai sensor

Karakteristik material piezoelektrik yang mampu membangkitkan listrik jika dikenai tegangan mekanik juga dimanfaatkan untuk mengkonversi tegangan mekanik yang berasal dari parameter fisik seperti percepatan atau tekanan menjadi sinyal elektrik sehingga fungsi dari *piezoelectric material* tersebut sebagai sensor. Salah satu penggunaan prinsip kerja sensor piezoelektrik yaitu sebagai sistem palang pintu kereta api otomatis. Contoh penggunaannya dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.14 *Piezoelectric* sebagai sensor (Wordpress, 2015)

Prinsip kerja sistem ini cukup sederhana, rel kereta api akan bergerak ketika ada kereta api yang melintasinya. Getaran rel ini mampu dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan bantuan sensor getaran salah satunya yaitu sensor piezoelektrik. Sensor ini digunakan sebagai sensor aktif yang mampu menghasilkan energi listrik dari getaran rel kereta.

Sensor ini berbahan *polyvinilidene flouride* (PVDF) dan dipicu dengan tegangan AC dari osilator. Sinyal eksitasi dihasilkan dari kontraksi mekanik akibat getaran dari rel kereta api. Osilasi yang dihasilkan akan diperkuat (*amplify*) dan diteruskan ke demodulator, yang sensitif terhadap amplitudo dan fase dari sinyal yang diterima. Sinyal keluaran yang dihasilkan linear terhadap besarnya getaran. Sinyal yang dalam bentuk tegangan ini kemudian disimpan sebagai energi menggunakan kapasitor dengan daya yang cukup besar. Energi yang tersimpan di dalam kapasitor disalurkan ke sistem palang pintu kereta api sebagai penyuplay tegangan untuk menggerakkan palang pintu secara otomatis ketika ada kereta api yang mendekat.

c. Transduser

Transduser adalah alat yang mengubah suatu bentuk energi ke dalam bentuk energi yang lain. Transduser ultrasonik mengubah energi listrik sebagai energi mekanik, dalam bentuk suara dan sebaliknya. Transduser akan mengeluarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi di atas 20 kHz. Transduser ultrasonik 40 kHz akan membangkitkan gelombang dengan frekuensi 40 kHz, transduser akan aktif jika diberi sinyal dengan frekuensi 40 kHz (M. Aidil, 2017).

Transduser ultrasonik terdiri atas dua macam yaitu pengirim (*transmitter*) Tx dan penerima (*receiver*) Rx. Transduser ultrasonik terbuat dari material piezoelektrik, yaitu terbuat dari material quartz (SiO_3) atau barium titanat (BaTiO_3) yang akan menghasilkan medan listrik pada saat material berubah bentuk atau dimensinya sebagai akibat gaya mekanik.

Beberapa transduser yang bekerja menggunakan bahan piezoelektrik antara lain:

- 1) Elemen piezoelektrik juga digunakan dalam pendeteksian generasi gelombang sensor.
- 2) Pemantauan daya dalam aplikasi daya tinggi (misalnya perawatan medis, sonokimia dan pemrosesan industri).
- 3) Mikrobiologi piezoelektrik digunakan sebagai sensor kimia dan biologis yang sangat sensitif.
- 4) Piezoelektrik biasa digunakan dalam alat pengukur regangan.

d. Sebagai aktuator

Piezoelektrik sebagai aktuator mengkonversi sebuah sinyal listrik menjadi *displacement* terkontrol yang sangat presisi untuk mengatur kebutuhan presisi yang sangat tinggi pada alat-alat permesinan, lensa atau cermin. Beberapa contoh penggunaan piezoelektrik sebagai aktuator yaitu pada mesin printer, aktuator ukuran nano dan sebagainya.

11. Kelemahan Dan Kekurangan Material Piezoelektrik

a. Kekurangan material piezoelektrik

Piezoelectric bukanlah suatu dielektrik yang bagus, ada sedikit kebocoran muatan pada material *piezoelectric*. Karena fenomena ini, ada suatu konstanta waktu penyimpanan tegangan pada piezelektrik setelah diberikan suatu gaya. Konstanta waktu ini tergantung pada kapasitansi elemennya dan pada resistansi kebocorannya. Konstanta waktunya berada pada orde 1 detik. Karena efek ini,

piezoelektrik kurang bermanfaat untuk mendeteksi besar static seperti berat suatu benda.

Aspek penting lainnya dalam penggunaan piezoelektrik adalah adanya kenyataan bahwa material piezoelektrik dibuat melalui proses kristalisasi kisi-kisi (*latice*) dalam susunan tertentu. Hal tersebut dilakukan dengan memanaskan kristal sampai di atas suhu *Curie* sambil menerapkan tegangan pada elektrodanya. Jika kristal dipanaskan mendekati suhu *Curie*, material tersebut dapat menjadi “*de pole*” yang dapat menghasilkan pengurangan sensitifitas piezoelektrik. Untuk beragam material, suhu *Curie* ini berada antara 50-600°C. Pemanasan dibawah suhu *Curie* dapat membatasi penggunaan sensor ini.

Kekurangan utama sensing piezoelektrik ini adalah sensitifitasnya hanya bagus untuk sinyal yang berubah-ubah terhadap waktu. Sensing piezoelektrik tidak dapat beroperasi untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan sensitifitas terhadap besaran statik. Meskipun demikian, jika ada sinyal yang berubah terhadap waktu, perlu adanya pemikiran yang lebih serius pada penggunaan elemen sensing piezoelektrik.

b. Kelebihan material piezoelektrik

Elemen piezoelektrik mempunyai beberapa kelebihan penting dibandingkan mekanisme sensing yang lain. Pertama dan yang utama adalah fakta bahwa piranti tersebut membangkitkan sendiri tegangannya. Karena itu elemen ini tidak memerlukan daya dari luar untuk operasionalnya. Untuk suatu aplikasi dimana konsumsi daya sangat terbatas, piranti piezoelektrik sangat berguna.

Tambahan lagi, efek piezoelektrik memiliki hukum penyekalan yang menarik sehingga bermanfaat pada piranti yang kecil.



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan bahan piezoelektrik. Dengan metode ini penulis terus mengembangkan berbagai riset yang telah dilakukan baik itu ketercapaian hasil maupun yang belum berhasil. Sehingga dari pengembangan-pengembangan yang telah dilakukan dihasilkan sebuah produk berdasarkan tujuan yang ingin dicapai dan tentunya masih bisa dikembangkan untuk penyempurnaan selanjutnya.

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Realisasi pada perancangan sistem konversi energi dengan menggunakan elemen piezoelektrik terdapat beberapa tahap dimana tahapan awal yaitu menentukan tempat penelitian. Dibawah ini tercantum tempat diadakan penelitian.

Waktu : Juli 2018 sampai Mei 2019

Tempat : Jl. Monumen Emmy Selan III Perumahan Graha Hasirah Permai
Blok D3

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Multimeter digital SD9208A
- b. Solder
- c. *Cutter*
- d. Penggaris

- e. 4 Buah pegas
- f. 4 Buah baut
- g. 4 Buah mur

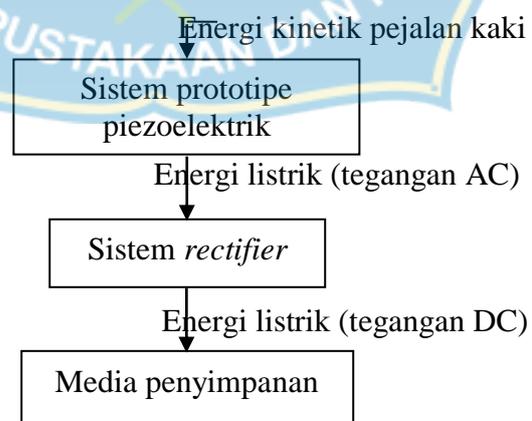
2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. 21 Buah Piezoelectric active cramic (PZT/*lead zirconate titanate*) 35 mm
- b. 1 Buah resistor 1 Ω
- c. Baterai
- d. 1 Buah saklar
- e. 1 Buah lampu LED
- f. 2 Buah papan
- g. Timah
- h. *Styrofoam*

C. Skema Penelitian

Secara garis besar skema penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Skema Penelitian



Gambar 3.2 Rancangan pembuatan *prototipe*

D. Langkah Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini di tunjukan pada diagram alir berikut:





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

E. Metode Penelitian

1. Mengidentifikasi masalah

Adapun masalah yang diidentifikasi yaitu:

- a. Bagaimana cara membuat sebuah prototipe alat penghasil listrik dengan tekanan mekanik menggunakan piezoelektrik?
- b. Bagaimana cara mengoptimalkan piezoelektrik untuk membantu mengatasi solusi kekurangan pasokan energi listrik?
- c. Bagaimana cara mengidentifikasi seberapa keluaran daya yang dihasilkan akibat pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada piezoelektrik?

2. Studi Pustaka

Dalam studi pustakan ini pengumpulan data dengan cara mencari buku, jurnal dan modul yang berkaitan dengan judul penelitian sebagai referensi untuk pengujian alat yang dilakukan.

3. Pengumpulan alat dan bahan

Alat yang digunakan dikumpulkan dan kemudian dirangkai komponen yang sudah tersedia menjadi sebuah alat pembangkit listrik alternatif.

4. Pengujian alat

Pengujian alat dilakukan bertujuan agar alat yang digunakan nantinya tidak mengalami hal-hal yang tidak diinginkan pada proses pengambilan data.

5. Pengambilan data

Pada tahap pengambilan data terlebih dahulu mengambil data pada keluaran daya yang dihasilkan akibat pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi pada piezoelektrik.

6. Kesimpulan dan saran

dari data yang telah didapatkan kita dapat menarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan sekaligus memberi saran yang bersifat membangun pada hasil penelitian selanjutnya.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pembuatan Prototipe

1. Desain Prototipe

Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan pembuatan prototipe adalah merancang suatu desain yang mana akan diaplikasikan dalam sebuah prototipe. Adapun rancangan desainnya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Desain Prototipe

2. Perakitan dan Pembuatan Prototipe

Proses perakitan dan pembuatan prototipe ada dua tahap. Tahap pertama adalah proses pembuatan rangkaian prototipe yang berfungsi sebagai tempat peletakan piezoelektrik dan komponen-komponen elektronika lainnya. Tahap

kedua adalah proses perangkaian piezoelektrik dan komponen-komponen elektronika pada prototipe.

Tahap pertama dilakukan pembuatan rangka yang berfungsi sebagai maket dan juga akan menjadi tampilan luar prototipe. Bahan yang digunakan pada rangka prototipe adalah 2 buah papan yang dirancang seperti gambar 4.2 dibawah ini.



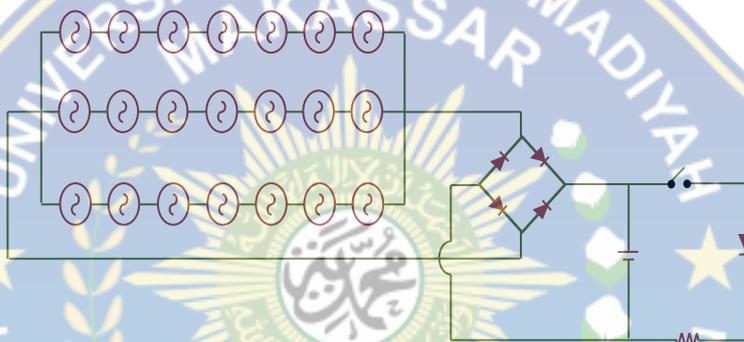
Gambar 4.2 Pembuatan rangka Prototipe

Rancangan desain pada rangka prototipe seperti pada gambar 4.2 yang bertujuan untuk melindungi rangkaian kabel penghubung dan sebagai tempat diletakkannya bahan piezoelektrik yang akan berfungsi untuk mengubah tekanan mekanik menjadi energi listrik.

Tahap kedua dilakukan proses merangkai piezoelektrik dan komponen elektronika lainnya pada prototipe. Komponen-komponen elektronika yang terdapat pada prototipe antara lain piezoelektrik, dioda zener, kapasitor, baterai, saklar, dioda LED dan resistor. Selain itu, terdapat rangkaian inverter yang akan

mengubah tegangan keluaran AC menjadi DC serta kabel yang akan menghubungkan semua komponen elektronika tersebut.

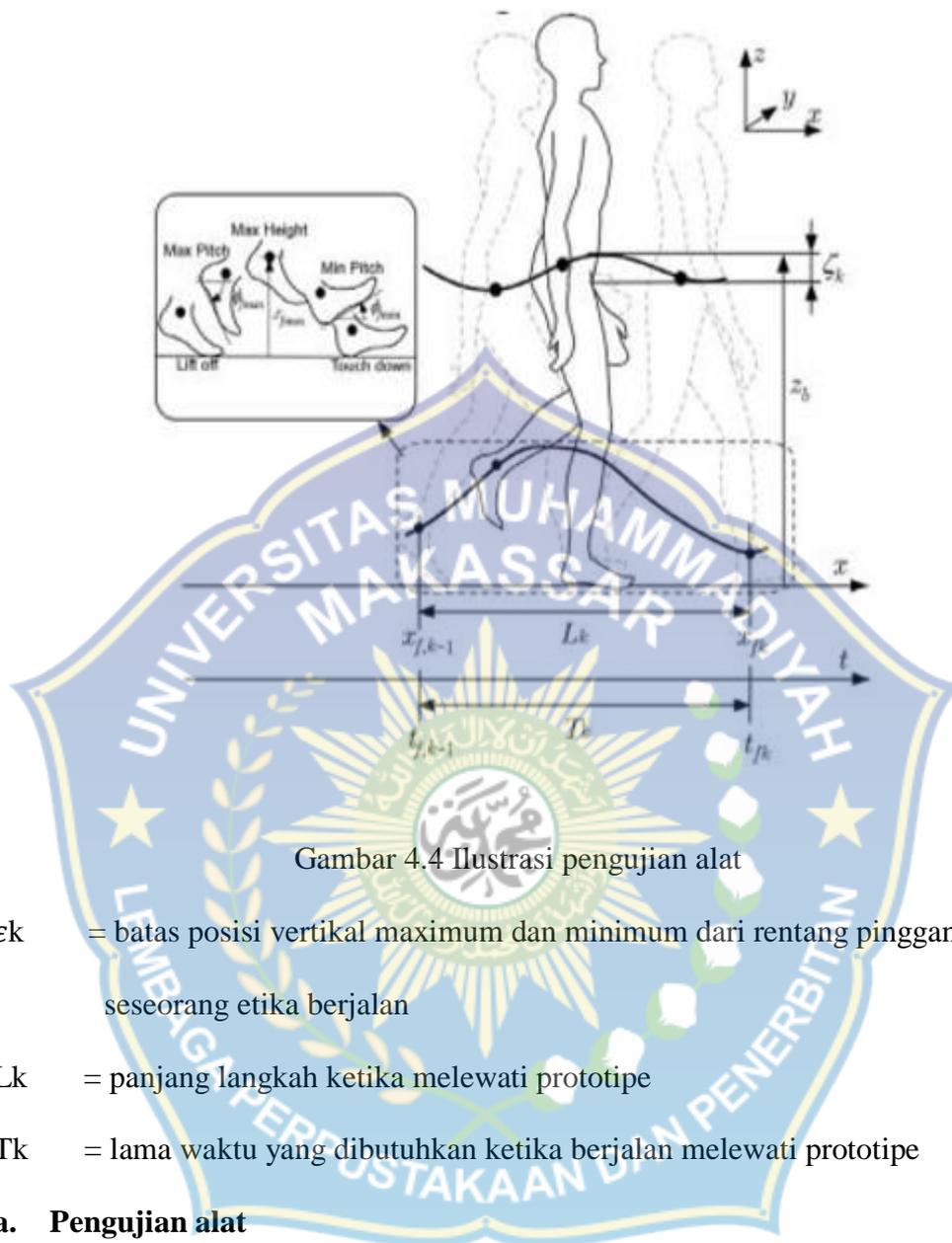
Tahap awal merangkai komponen elektronika yaitu dengan merangkai semua piezoelektrik, dimana piezoelektrik dihubungkan secara paralel agar tegangan keluaran yang dihasilkan lebih stabil. Tahap selanjutnya adalah pembuatan rangkaian *rectifier* yaitu dengan rangkaian *fullwave rectifier* sederhana, terdiri dari 4 buah dioda zener yang dihubungkan secara *bridge* yang bertujuan untuk mengubah tegangan keluaran piezoelektrik menjadi tegangan DC.



Gambar 4.3 Rangkaian prototipe

3. Hasil Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan multimeter digital sebagai alat pengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh prototipe. Dalam percobaan kali ini peneliti menggunakan berat badan manusia yang berada pada interval 34 kg sampai 60 kg akan didapatkan data yang menentukan tegangan keluaran. Ilustrasi pengambilan data pada prototipe ini dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Ilustrasi pengujian alat

ϵ_k = batas posisi vertikal maximum dan minimum dari rentang pinggang seseorang etika berjalan

L_k = panjang langkah ketika melewati prototipe

T_k = lama waktu yang dibutuhkan ketika berjalan melewati prototipe

a. Pengujian alat

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh prototipe pada rangkaian paralel dengan pijakan manusia diukur dengan menggunakan alat ukur multimeter digital.

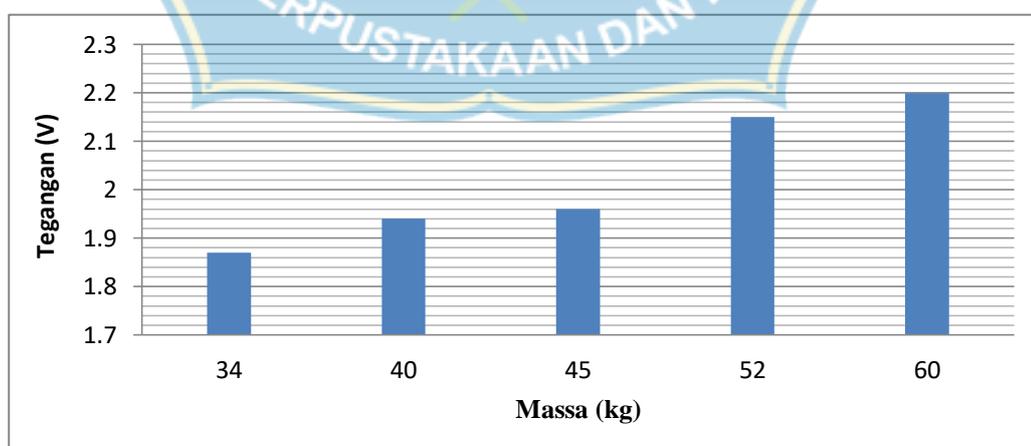
Data percobaan kali ini dilakukan sebanyak 3 kali pengambilan data.

1) Percobaan pertama

No	Massa (kg)	Tegangan (V)
1	34	1.87
2	40	1.94
3	45	1.96
4	52	2.15
5	60	2.20

Tabel 4.1 Data pengujian prototipe percobaan 1

Tabel 4.1 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 1,87 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 1.94 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 1,96 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 2,15 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 2,20 volt.



Grafik 4.1 Data pengujian prototipe percobaan 1

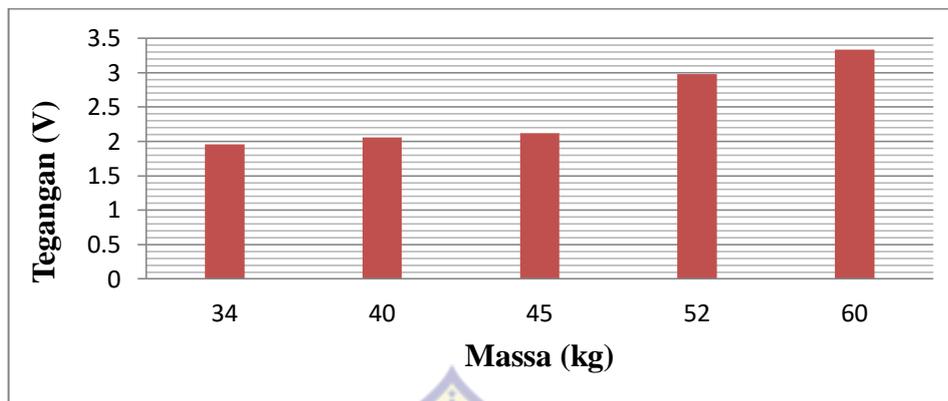
Grafik 4.1 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 1,87 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 1.94 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 1,96 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 2,15 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 2,20 volt.

2) Percobaan kedua

No	Massa (kg)	Tegangan (V)
1	34	1.96
2	40	2.06
3	45	2.12
4	52	2.98
5	60	3.33

Tabel 4.2 Data pengujian prototipe percobaan 2

Tabel 4.2 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 1,96 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 2,06 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 2,12 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 2,98 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 3,33 volt.



Grafik 4.2 Data pengujian prototipe percobaan 2

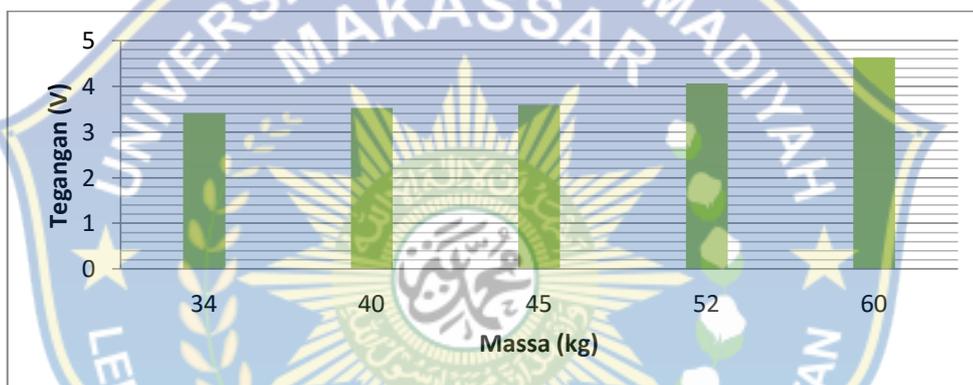
Grafik 4.2 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 1,96 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 2,06 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 2,12 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 2,98 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 3,33 volt.

3) Percobaan ketiga

No	Massa (kg)	Tegangan (V)
1	34	3.41
2	40	3.53
3	45	3.59
4	52	4.06
5	60	4.63

Tabel 4.3 Data pengujian prototipe percobaan 3

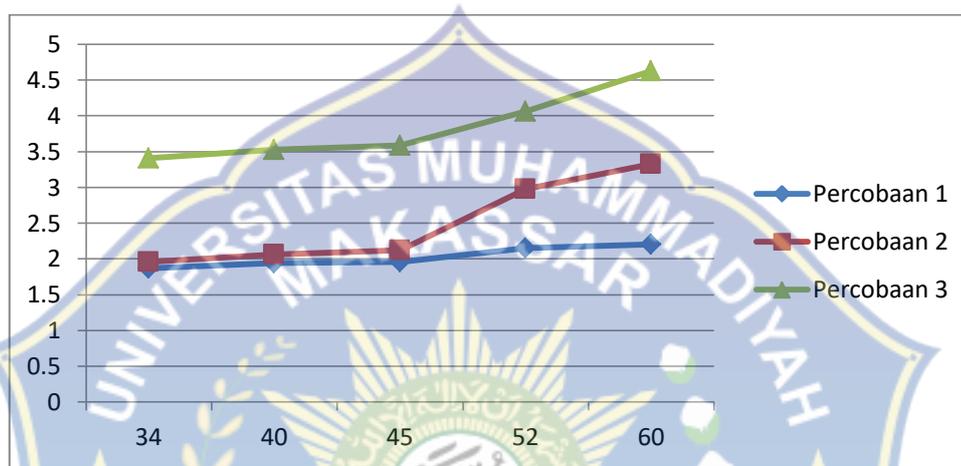
Tabel 4.3 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 3.41 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 3.53 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 3.59 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 4.06 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 4.63 volt.



Grafik 4.3 Data pengujian prototipe percobaan 3

Grafik 4.3 menunjukkan tegangan yang dihasilkan prototipe pada rangkaian paralel pada pijakan manusia dimana massa (kg) berasal dari 5 orang yang berbeda. Pengujian pertama pada prototipe bahwa dengan berat badan 34 kg didapat tegangan sebesar 3.41 volt. Pengujian kedua menggunakan berat badan 40 kg didapatkan tegangan sebesar 3.53 volt. Pengujian ketiga menggunakan berat badan 45 kg didapatkan tegangan sebesar 3.59 volt. Pengujian keempat menggunakan berat badan 52 kg didapat tegangan sebesar 4.06 volt. Pengujian terakhir menggunakan berat badan 60 kg didapatkan tegangan sebesar 4.63 volt.

Data yang dihasilkan oleh 3 percobaan pada prototipe rangkaian paralel untuk pijakan manusia menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar. Setiap data yang diambil pada 3 kali percobaan mengalami kenaikan namun tidak menunjukkan perbedaan yang begitu besar. Ketiga percobaan tersebut dapat dilihat perbedaannya pada grafik 4.4.



Grafik 4.4 Perbandingan percobaan 1, 2 dan 3 rangkaian paralel dengan pijakan kaki manusia

Grafik 4.4 menunjukkan perbedaan antara percobaan 1, 2 dan 3. Dari ketiga percobaan yang telah dilakukan, didapatkan keluaran tegangan yang tidak terlalu besar sehingga data dari 3 kali percobaan berturut-turut hampir selalu sama walaupun ada beberapa data yang mengalami kenaikan tegangan keluaran. Hal ini dikarenakan suatu tekanan sangat mempengaruhi jumlah *output* tegangan yang dihasilkan.

Tabel 4.4 menunjukkan tegangan rata-rata untuk ketiga percobaan yang didapatkan dengan cara menjumlahkan ketiga data hasil percobaan, lalu hasil penjumlahan dari ketiga data tersebut dibagi 3. Tegangan rata-rata yang dihasilkan

oleh prototipe pada rangkaian paralel dengan pijakan manusia adalah sebagai berikut:

No	Massa (kg)	Tegangan (V)			Tegangan rata-rata (V)
		I	II	III	
1	34	1.87	1.96	3.41	2.41
2	40	1.94	2.06	3.53	2.51
3	45	1.96	2.12	3.59	2.56
4	52	2.15	2.98	4.06	3.06
5	60	2.20	3.33	4.63	3.39

Tabel 4.4 Tegangan rata-rata dari percobaan 1, 2 dan 3



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah prototipe yang mana menggunakan piezoelektrik sebagai bahan utama, prototipe ini mampu mengubah energi mekanik yang berasal dari pijakan kaki manusia menjadi energi listrik sehingga dapat diandalkan untuk mengatasi solusi kekurangan pasokan energi listrik untuk memberdayakan energi alternatif.
2. Dari ketiga percobaan kali ini didapatkan tegangan rata-rata yang dihasilkan rangkaian prototipe dengan berat badan 34 kg, 40 kg, 45 kg, 52 kg dan 60 kg didapat tegangan rata-rata sebesar 2,41 volt, 2,51 volt, 2,56 volt, 3,06 volt dan 3,39 volt.

B. Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan yaitu:

1. Perlu pengembangan lagi terhadap pemanfaatan piezoelektrik sehingga dapat diaplikasikan sebagai penghasil listrik. Walaupun tidak dapat menggantikan sumber listrik utama namun dapat mengurangi pasokan penggunaan energi listrik dari PLN.

2. Masih banyak penggunaan bahan piezoelektrik yang perlu dikembangkan lagi untuk potensi energi listrik, misalnya memanfaatkan energi dari getaran rel kereta api.
3. Dalam penyusunan hasil penelitian ini, tentunya masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, untuk kepentingan penelitian-penelitian selanjutnya maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Salwin., Desmiwarman., & Nazruddin, Nazris. 2010. *Pemakaian Remote Control TV Dengan Menggunakan Mikrokontroler AT8S51 Sebagai Alat Pemutus dan Penghubung Tegangan KWH Meter 1 Phasa*. Jurnal Penelitian Fakultas Teknik Universitas Politeknik Negeri Padang. Volume 2. No. 2. Halaman 67-73.
- Anwary, Rezza., dkk. 2015. *Piezoelektrik Sebagai Media Transmisi Energi Listrik Untuk Pembuatan Charger Nirkabel*. Proposal Program Kreativitas Mahasiswa. Tidak diterbitkan. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Diniardi, Ery., dkk. 2017. *Analisis Desain Pickup Piezoelektrik Elemen Dari Model Hybrid Solar Cell-Piezoelectric Untuk Daya Rendah*. Jurnal Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. Volume 9. No. 2. Halaman 84-88.
- Hidayahtullah, Wira., Syukri, Mahdi., & Syukriyadi. 2016. *Perancangan Prototipe Penghasil Energi Listrik Berbasis Dasar Piezoelektrik*. Jurnal Hasil Penelitian Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Volume 1. No. 3. Halaman 63-67.
- Krisdianto, Andy Noven. 2011. *Studi Karakteristik Energi Yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Dengan Metode Piezoelectric Untuk Pembebanan Frontal Dan Lateral*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

- Maulana, Riza. 2016. Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Pada Sepatu. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.
- M.Aidil, Akmal. 2017. Prototipe Alat Penghasil Listrik dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Purwasih, Intan. 2010. Rancang Bangun Sumber Energi Terbarukan Secara Hybrid (Kumparan dan Bahan Piezoelektrik PvdF) Dengan Memanfaatkan Kantilever Sebagai Penggetar. Skripsi hasil penelitian. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Syam, Rafiuddin. 2013. *Dasar Dasar Teknik Sensor*. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Yaoung, Hugh D. & Freedman, R.A. 2012. *University Physics With Modern Physics 13th Edition*. San Fransisco : Amerika Serikat.
- Yulia, Elfi., dkk. 2016. *Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor*. Jurnal penelitian Institut Teknologi Bandung. Volume 8. No. 1. Halaman 105-113.



LAMPIRAN



Gambar Multimeter



Gambar Full wave rectifier



Gambar piezoelektrik



Gambar Pegas



Gambar Baterai

