

BAB 2

LANDASAN TEORI

Pada bab ini merupakan uraian teori-teori tentang penelitian piezoelektrik untuk menghasilkan energi listrik dengan metode lainnya. Penulis memaparkan hasil permasalahan, tujuan yang akan dibahas untuk membandingkan penelitian yang ada dan yang penulis buat. Tinjauan pustaka dapat digunakan seperti bahan pertimbangan dalam melakukan penelitian. Berikut adalah beberapa tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar penunjang pengembangan penelitian penulis tentang piezoelektrik sebagai transduser untuk menghasilkan listrik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Reggya mayang ratih dkk (Ratih et al., 2020) yaitu powerbank piezoelektrik menggunakan tekanan tangan. Pada penelitian ini menggunakan 4 buah piezoelektrik tersusun secara paralel dan seri dan membandingkan hasil tegangannya, setelah itu menghubungkan rangkaian ke baterai dan modul booster XL6009. Pada penelitian ini output yang dihasilkan saat tidak menggunakan modul booster 1.3V, pada saat menggunakan modul booster yaitu 6.45V.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Juliana Johari dan Tuan Muhammad Afif (Johari Juliana & Tuan Rashid Tuan Muhammad Afif, 2017) *Optimization of Piezoelektrik Transducer Placement in Shoe Insole for Energy Harvesting*. Pada penelitian ini di design di insole sepatu dengan tekanan tertinggi yaitu di tumit, dan di ujung kaki tegangan yang dihasilkan yaitu 21.38 V untuk tumit dan 19.97V untuk ujung kaki. Untuk pengisian powerbank 1500mAh membutuhkan rata-rata langkah 1.710.566.087 langkah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh NED universitiy (University of Management and Technology (Pakistan) et al., 2019) *Energy Harvesting Through Floor Tile*. Pada penelitian ini hanya sebatas simulasi rangkian, penelitian inimenyarankan menggunakan sterofom berukuran 7-8mm diatas piezoelektrik, rangkaian ini menambahkan LCD pada simulasi untuk menampilkan nilai arus , tegangan,

Pada penelitian yang dilakukan oleh Phonexai yingyong dkk (Yingyong et al., 2021) *Evaluation of harvesting energy from pedestrians using piezoelectric floor tile energy harvester*. Pada penelitian ini perbedaannya yaitu menambahkan *spring* pada alas dan permukaan piezoelektrik yang disusun secara paralel sebanyak 40 buah. Penelitian ini nilai output berdasarkan parameter berat badan pejalan kaki dan mengetahui parameter kecepatan gerak pejalan kaki (berjalan atau berlari) 30 orang berjalan secara bebas, tegangan dan energi yang dihasilkan 16,2V untuk berjalan dan 25,9V untuk berlari. Energi rata-rata 9.6 mJoule dan 24.6 mJoule.

Penulis mengacu pada beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya baik secara nasional maupun internasional sebagai bahan acuan penulis untuk dapat diperbaharui.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian

No	Judul	Metode	Hasil
1	Powerbank Piezoelektrik Menggunakan Tekanan Tangan	Sistem digunakan untuk memuat powerbank Piezoelektrik dengan seri/ paralel dengan menggunakan converter boost XL6009	Sistem berfungsi dengan menghasilkan output 1,3V dan saat ditambahkan converter boost tegangan mencapai 6.45V
2	<i>Optimization of Piezoelektrik Transducer Placement in Shoe Insole for Energy Harvesting</i>	Sistem ini digunakan di insole sepatu untuk mengisi powerbank dengan membandingkan tekanan di tumit atau di ujung kaki	Sistem berfungsi dengan menghasilkan 0.018mj dan 5 nWh, dengan rata rata langkah 1.499.877.778 langkah

3	<i>Energy Harvesting through Floor Tiles</i>	sistem ini hanya berupa simulasi dengan menambahkan mikrokontroller arduino dan LCD di simulasinya sebagai monitoring arus dan tegangan	Pada penelitian ini dari simulasi dapat menghasilkan listrik dan dapat diimplementasikan di lantai, gitar listrik, sistem manajemen di mobil, loudspeaker, dll
4	<i>Evaluation of harvesting energy from pedestrian using piezoelectric floor tile energy harvester</i>	Sistem ini digunakan di lantai dengan 40 buah piezoelektrik dengan menambahkan per	Sistem ini berfungsi dengan data yang diperoleh kepada berat badan, kondisi berjalan, dan lari sebanyak 30 orang dengan output yang dihasilkan 16,2V untuk berjalan dan 25,9V untuk berlari. Energi rata-rata 9.6 mJoule dan 24.6 mJoule.
5	Pembangkit Listrik Pada Pijakan Kaki Manusia Dengan Memanfaatkan Piezoelektrik	Sistem ini menggunakan metode <i>Research and Development</i> pada pengisian kapasitor dengan waktu pengisian yang berbeda-beda	Sistem ini dapat menghasilkan listrik dengan tegangan 1,8V dengan arus 0,09mA, dan daya 1,495mW

2.1 Piezoelektrik

Piezoelektrik adalah fenomena yang ditemukan oleh Curie bersaudara pada tahun 1880 dimana dihasilkan listrik dari kristal yang mendapat tekanan atau regangan. Kata piezo berarti tekanan, sehingga efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Mereka

mengombinasikan pengetahuan mereka akan piroelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal. Keduanya kemudian mendemonstrasikan efek piezoelektrik pertama dengan menggunakan kristal turmalin, kuarsa, ratna cempaka, dan garam rossel. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal kuarsa dan garam rossel memperlihatkan kemampuan piezoelektrisitas paling besar saat itu. (Witjaksono, 2016) . Piezoelektrik dapat difungsikan sebagai sensor ataupun sebagai pembangkit energi listrik. Penerapan gaya pada permukaannya menginduksi polarisasi dan akan menyebabkan medan listrik sehingga bahan tersebut mengubah tekanan mekanis ke tegangan listrik.



Gambar 2. 1 Polarisasi Piezoelektrik (A) Tidak Terpolarisasi (B) Terpolarisasi (Mowaviq et al., 2018)

2.1.1 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 materi. Piezoelektrik adalah suatu efek yang *reversible*, 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. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut dikenal dengan electrostriction (efek piezoelektrik). Pemanfaatan bahan

piezoelektrik dapat menghasilkan beda potensial yang cukup besar sehingga dapat digunakan sebagai sumber tegangan. Pada piezoelektrik terdapat mode coupling yaitu proses terjadinya deformasi pada material piezoelektrik dengan gaya tertentu. Besarnya konsentrasi muatan listrik yang terbentuk dari efek piezoelektrik dapat dinyatakan dalam dua *mode*, yaitu *charge mode* dan *voltage mode*. Tegangan dan Arus yang dihasilkan *piezoelectric* berbanding lurus dengan gaya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan luas penampang bidang. Selanjutnya, untuk mengalkulasikan voltase yang dihasilkan oleh satu unit mikro piezoelektrik dapat digunakan persamaan berikut:

Dimana: $q = d_{33} \cdot F$ rumus 1.1

$v = \frac{4 \cdot d \cdot g_{33}}{\pi \cdot D^2} F$ rumus 1.2

- D : Diameter Piezoelektrik (mm)
- d : ketebalan piezoelektrik (mm)
- F : Gaya (N)
- q : muatan arus (A)
- v : Voltage (V)
- d_{33} : konstanta charge piezoelektrik (pC/N)
- g_{33} : konstanta tegangan piezoelektrik (mV.m/N)



Gambar 2. 2 Piezoelektrik

2.1.2 Sifat dan Karakteristik Material 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. *Barium titanate* dan *zirconate titanate* merupakan material piezoelektrik buatan manusia. Di alam ada banyak material alami yang dapat memberikan efek piezoelektrik,

seperti *berlinite*, kuarsa, *turmalin*, dan garam *rossel*. Material jenis ini antara lain yaitu lapisan tipis *rhombohedral lead zirconium titanate* (PZT) sebagai aktuator untuk MEMS, lapisan tipis *aluminium nitride* (AlN) sebagai filter atau resonantor (orde GHz) berbasis efek *surface acoustic wave* (SAW), komposit piezoelektrik seperti serbuk keramik PTCa yang didispersikan dalam *epoxy* digunakan sebagai aktuator pembalik (listrik menjadi energi mekanik). Sifat dan karakteristik beberapa material piezoelektrik dapat dilihat pada gambar berikut:

Material	Density (Mg/m ³)	Dielectric constant	Curie temperature (°C)	Saturation polarization (C/m ²)	Coupling coefficient, K
Quartz	2.65	4.6	575		
Li ₂ SO ₄	2.06	10.3			
BaTiO ₃	5.7	1900	130	0.26	0.38
PbTiO ₃	7.12	43	494		
PZT-4 ^a	7.6	1300	320	~0.5	0.56
PZT-5 ^a	7.7	1700	365	~0.5	0.66
LiNbO ₃	4.64	29	1210	0.74	0.035
Rochelle salt		5000	24		

Gambar 2. 3 Sifat dan Karakteristik Beberapa Material Piezoelektrik

Sumber: Ichwan, 2010

Kristal piezoelektrik berdasarkan pengelompokan bahan gabungan merupakan sebuah keramik. Keramik merupakan campuran yang terdiri dari unsur-unsur logam dan bukan logam. Setiap bahan dari keramik ini memiliki ciri kekerasan dan kerapuhan, selain itu keramik ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan lingkungan yang lebih berat.

Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkan digunakan untuk berbagai aplikasi diantaranya:

1. Kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah.
2. Tahan korosi.
3. Sifat listriknya dapat insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor.
4. Sifatnya dapat magnetik dan non-magnetik.

5. Keras dan kuat, namun rapuh.

Dua jenis ikatan dapat terjadi dalam keramik, yakni ikatan ionik dan kovalen. Sifat keseluruhan material bergantung pada ikatan yang dominan. Klasifikasi bahan keramik dapat dibedakan menjadi dua kelas: kristalin dan *amorf* (non kristalin). Dalam material kristalin terdapat keteraturan jarak dekat maupun jarak jauh, sedangkan dalam material *amorf* mungkin keteraturan jarak pendeknya ada, namun pada jarak jauh keteraturannya tidak ada.

2.1.3 Aplikasi Piezoelektrik

Piezoelektrik dapat diaplikasikan pada berbagai macam teknologi yang dapat menunjang kebutuhan manusia sehari-harinya. Berbagai macam penggunaan tersebut antara lain:

- 1) Digunakan sebagai transduser pada suatu alat, yaitu mengubah percepatan getaran atau besaran mekanik untuk dijadikan sebagai muatan listrik;
- 2) Digunakan dalam perangkat microphone dan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan (*strain gauges*);
- 3) Digunakan pada teknologi baru jam tangan, yaitu pada penggunaan kristal *quartz* (Kristal kuarsa), yang berpedoman pada sifat piezoelektrik dalam kristal kuarsa. Kristal tersebut memiliki sifat selalu berubah bentuknya apabila mendapatkan tekanan dan menghasilkan medan listrik pada sirkuit elektronik sehingga dapat memicu muatan listrik yang akan digunakan pada jam elektronik, dan perangkat elektronik lainnya.

2.2 Rectifier

Rectifier atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan penyearah gelombang adalah suatu bagian dari rangkaian catu daya atau power supply yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (Alternating Current) menjadi sinyal DC (Direct Current). Rangkaian rectifier atau penyearah gelombang ini pada umumnya

menggunakan dioda sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah dioda dialiri arus listrik bolak-balik (AC), maka diode tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir atau dipotong.

2.2.1 Penyearah setengah gelombang

Penyearah Setengah Gelombang merupakan penyearah yang paling sederhana karena hanya menggunakan satu buah dioda untuk menghambat sisi sinyal negatif dari gelombang AC dari power supply dan melewatkan sisi sinyal positifnya.

Pada prinsipnya, arus AC terdiri dari dua sisi gelombang yakni sisi positif dan sisi negatif yang bolak-balik. Sisi positif gelombang dari arus AC yang masuk ke dioda akan menyebabkan diode menjadi bias maju (Forward Bias) sehingga melewatkannya, sedangkan sisi negative gelombang arus AC yang masuk akan menjadikan diode dalam posisi bias terbalik (Reverse Bias) sehingga menghambat sinyal negatif tersebut.

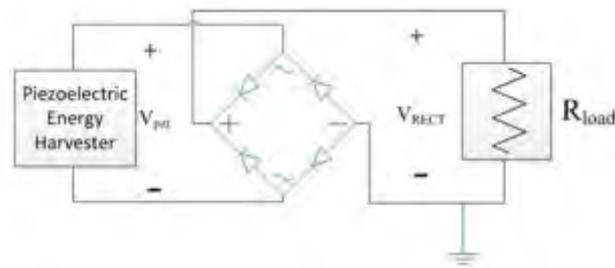
2.2.2 Penyearah Gekombang Penuh

Terdapat tiga cara untuk membentuk penyearah gelombang penuh. Tiga cara tersebut tetap menggunakan dioda sebagai penyearah namun dengan jumlah dioda yang berbeda yaitu menggunakan dua buah, empat buah, dan enam buah. Penyearah gelombang penuh dengan dua dioda harus menggunakan transformator CT sedangkan untuk empat dioda atau lebih tidak perlu, penyearah empat dioda sering disebut juga *full wafe bridge rectifier*

2.3 Rangkaian pembangkit piezoelektrik

Piezoelektrik dalam sekali tekan dan dilepaskan akan menghasilkan arus bolak-balik. Sehingga untuk mendapatkan energi yang maksimal dan dapat disimpan dalam baterai maka perlu disearahkan dengan rectifier (gambar 2.4) Karena energi listrik yang dihasilkan piezoelektrik sangat kecil, energi listrik

disimpan terlebih dahulu dalam baterai atau kapasitor sebelum digunakan pada beban.



Gambar 2. 4 Rangkaian Pembangkit Piezoelektrik (Jhun et al., 2021)

Energi yang dihasilkan diketahui dengan mendapatkan nilai tegangan yang berada pada kapasitor. Adapun, besar energi yang tersimpan adalah

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \dots\dots\dots \text{rumus 2.3}$$

Di mana adalah tegangan pada kapasitor dalam volt (V), adalah kapasitansi dalam farad (F), dan merupakan energi dalam joule (J) atau ekuivalen dengan watt-sekon (W-s). Untuk menghitung jumlah energi yang tersimpan dalam kapasitor dalam sekali tekan (E_{tap}), dapat diperoleh dengan mendapatkan tegangan sebelum (V_0) dan sesudah ditekan (V_1). Sehingga, energi dalam sekali tekan adalah hasil dari

$$E_{tap} = \frac{1}{2} (V_1^2 - V_0^2) \dots\dots\dots \text{rumus 2.4}$$

2.4 Kapasitor

Suatu kapasitor dengan kapasitansi C bila dihubungkan dengan sumber tegangan V maka setelah beberapa waktu kapasitor akan terisi oleh muatan:

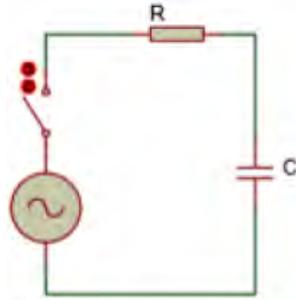
$$Q = C.V \dots\dots\dots \text{rumus 2.5}$$

Dimana: Q= Muatan elektron (coulombs)

C= Kapasitansi (farad)

V= Tegangan (Volt)

Rangkaian dari sebuah kapasitor dapat ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 Rangkaian Dengan Kapasitor

Kapasitor terhubung dengan sumber tegangan saat saklar ditutup. Kapasitor akan segera terisi muatan tetapi tidak langsung penuh.

2.5 Baterai

Baterai merupakan suatu peralatan yang bekerja secara kimiawi dan terdiri dari dua pelat yang memiliki bentuk jaring positif dan negatif yang terbuat dari bahan timbal (Pb) berlapis timbal-oksida (PbO) di dalam larutan asam sulfat (H₂SO₄). Semua substansi tersebut secara kimiawi bereaksi menghasilkan aliran elektron. Seiring berkembangnya waktu baterai telah banyak berkembang. Salah satu inovasinya adalah baterai yang mampu diisi ulang yang disebut dengan baterai sekunder.

Baterai sekunder menurut kompas adalah baterai yang bisa dipakai berkali-kali atau diisi ulang. Hal tersebut memungkinkan karena reaksi elektrokimia dalam baterai sekunder bersifat reversibel (bolak-balik). Contoh baterai sekunder, yaitu:

1) Baterai nikel-kadmium (NiCd)

Baterai NiCd adalah baterai yang katodanya terbuat dari logam nikel, sedangkan anodanya terbuat dari kadmium yang digulung berlapis dengan lapisan pemisah di antara keduanya. Baterai NiCd mengeluarkan lebih banyak daya dari baterai alkalin dan dapat diisi ulang sebanyak 1000 kali.

2) Baterai NiMH (*Nickel-Metal Hydride*)

Memiliki densitas energi yang lebih tinggi dari NiCd, tetapi berumur (banyak siklus baterai) lebih sedikit. NiMH tidak mengandung material yang berbahaya. Namun, sedikit kekurangan dan baterai ini memiliki debit

diri yang tinggi, Contoh aplikasi baterai NIMH adalah pada ponsel dan laptop

3) Baterai litium-ion (Li-Ion)

Baterai Li-Ion adalah baterai yang paling sering digunakan dalam alat elektronik portable seperti ponsel pintar dan juga laptop. Hal ini dikarenakan baterai Li-Ion menghasilkan listrik dalam jumlah besar, tegangan yang konstan, hemat daya, dan juga jauh lebih ringan dibanding jenis baterai sekunder lainnya.

4) Baterai Asam-timbal

Baterai asam timbal adalah baterai yang terdiri dari ksida timbal sebagai elektroda positif dan timbal sebagai elektroda negatif yang tersendam dalam larutan asam H₂SO₄. Bateri asam-timbal menghasilkan tegangan dan arus yang tinggi sehingga digunakan untuk menyalakan mesin kendaraan bermotor seperti, mobil, motor, dan truk.

Baterai sekunder memiliki ciri antara lain memiliki prinsip kerja mengubah reaksi kimia menjadi energi listrik. Hal ini biasanya tidak bersifat permanen, dapat digunakan berulang kali dengan cara mengecas baterai yang aliran listriknya telah habis, membutuhkan alat tambahan, yaitu *charger* baterai.



Gambar 2. 6 Baterai

2.6 Relay

Relay adalah sebuah saklar yang dikendalikan oleh arus. Relay memiliki sebuah kumparan tegangan rendah yang dililitkan pada sebuah inti. Terdapat sebuah armatur besi yang akan tertarik menuju inti apabila arus mengalir melewati kumparan. Armatur ini terpasang pada sebuah tuas berpegas. Ketika armatur tertarik menuju inti, kontak jalur bersama akan berubah posisinya dari kontak normal-tertutup ke kontak normal-terbuka.

Kontak Poin (Contact Point) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu :

- Normally Close (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi CLOSE (tertutup)
- Normally Open (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi OPEN (terbuka)



Gambar 2.7 Relay

2.7. 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 (Gifari, 2020).

2.8. Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran muatan listrik yang melalui luas penampang. Arah arus dianggap searah dengan muatan positif. Elektron-elektron bebas yang muatannya negatif adalah partikel-partikel yang sebenarnya bergerak dan mengakibatkan arus pada kawat penghantar (Gifari, 2020).

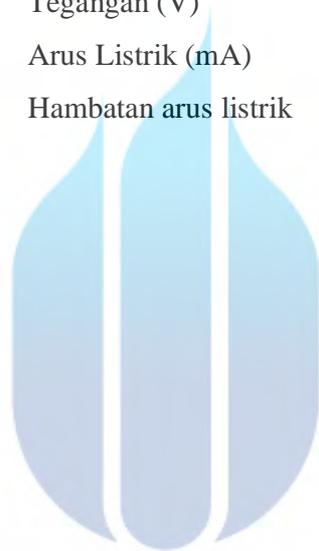
2.9. Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik dalam satu ampere yang pada tegangan satu volt (Gifari, 2020).

$$P = I.V \quad \dots\dots\dots \text{rumus 2.6}$$

$$P = I^2R \quad \dots\dots\dots \text{rumus 2.7}$$

- Dimana: P : Daya (mWatt)
V : Tegangan (V)
I : Arus Listrik (mA)
R : Hambatan arus listrik



UNIVERSITAS
MERCU BUANA