

REKAYASA VIBRASI

**Kendali dan Pemanfaatan Vibrasi dengan Piezoelektrik
di bidang Rekayasa Instrumentasi & Kontrol**

ERNA KUSUMA WATI

BUKU AJAR

REKAYASA VIBRASI

**Kendali dan Pemanfaatan Vibrasi dengan
Piezoelektrik di bidang Rekayasa
Instrumentasi & Kontrol**

Erna Kusuma Wati

LP-UNAS

REKAYASA VIBRASI

Kendali dan Pemanfaatan Vibrasi dengan Piezoelektrik di bidang Rekayasa Instrumentasi & Kontrol

Oleh: Erna Kusuma Wati

Hak Cipta© 2021 pada penulis

Editor : Fitri Rahmah
Penyunting : Fitria Hidayanti & Kiki Rezki
Desain Cover : Rudi Ristanto

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.

Dilarang Memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin dari penulis.

ISBN : 9 786237 273035

Penerbit : LP_UNAS

Jl.Sawo Manila, Pejaten Pasar Minggu, Jakarta Selatan

Telp. 021-78067000 (Hunting) ext.172

Faks. 021-7802718

Email : bee_bers@yahoo.com

ISBN 978-623-7273-03-5



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sehingga buku yang berjudul "**Rekayasa vibrasi**" telah selesai disusun. Dalam pembuatan buku ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah banyak membantu. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. El Amry Bermawi Putra, MA selaku Rektor Universitas Nasional
2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Nasional
3. LP Unas
4. Jajaran dosen dan karyawan di lingkungan Universitas Nasional

Semoga buku ini dapat membantu bagi mahasiswa termasuk mahasiswa Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional.

Penulis pun menyadari jika didalam penyusunan buku ini mempunyai kekurangan, namun penulis meyakini sepenuhnya bahwa sekecil apapun buku ini tetap akan memberikan sebuah manfaat bagi pembaca.

Jakarta, Juni 2021.

Penulis

Erna Kusuma Wati

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Bab 1. Pendahuluan	1
1. 1 Latar belakang	1
Bab 2. Gelombang dan Energi	6
2. 1 Definisi Gelombang	6
2. 2 Gelombang Transversal dan longitudinal	6
2. 3 Besaran Gelombang	14
2. 4 Mekanika Fluida	17
2. 5 Hukum kekekalan Energi	19
2. 6 Potensial Listrik dna Kapasitor	25
2. 7 Listrik Arus Searah	27
Bab 3. Sumber Daya Piezoelektrik Mandiri Untuk pengendali Otomatis Aliran Fluida	73
3. 1 Kerangka Berpikir	73
3. 2 Perancangan Alat	78
3. 3 Instalasi Alat.....	94

3. 4 Pengujian Sistem	100
3. 5 Analisis Pengujian	124
3.6 Pembahasan	145
3. 7 Simpulan	148
Referensi	152

Bab 4. Pemanfaatan Vibrasi (dari

kebisingan industri) Menjadi Energy Listrik

..... 160

4. 1 Pendahuluan	160
------------------------	-----

4. 2 Kerangka berpikir	175
------------------------------	-----

4. 3 Perancangan dan Sistem

Pemamen energi	178
----------------------	-----

4. 4 pengujian Sistem	180
-----------------------------	-----

4. 5 Hasil dan Analisis Pembahasan

.....	191
-------	-----

4. 6 Simpulan	207
---------------------	-----

Referensi	210
-----------------	-----

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perindustrian dan kehidupan umum diharuskan berkembang, sistem otomasi salah satunya adalah bagian terpenting digunakan untuk pertumbuhan yang menghasilkan. Pertumbuhan yang menghasilkan perlu ditingkatkan dalam bentuk barang atau jasa berkualitas dengan sistem yang efisien. Pengembangan sistem harus dilakukan yaitu pada sistem otomasinya untuk meningkatkan kuantitas produksi serta aktifitas tanpa mengabaikan kualitas, karena hal ini sangat perlu dilakukan agar daya saing industri dan kehidupan umum didalam negeri tidak

kalah dari luar negeri pada zaman sekarang.

Pada berbagai bidang industri dan umum, distribusi fluida khususnya cairan sangat penting, baik itu sebagai kepentingan umum seperti air bersih maupun sebagai barang hasil proses produksi seperti minyak bumi. Pengendali aliran fluida beragam jenis namanya. Salah satunya katup kontrol seperti keran otomatis adalah alat yang sangat dibutuhkan dalam kegiatan distribusi fluida. Kegunaan katup kontrol adalah mengatur keluar masuk fluida dari pipa distribusi. Katup kontrol otomatis dituntut bekerja secara tepat dan tetap. Prinsip kerja alat ini adalah secara otomatis membuka dan menutup aliran fluida melalui pipa distribusi. Karena itu, ketepatan waktu

katup kontrol untuk membuka dan menutup harus sesuai dengan kondisi.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7].

Penulis berpikir dan menyadari bahwa katup kontrol atau keran otomatis sampai saat ini energi listrik untuk membangkitkan dan memenuhi dayanya bergantung pada *power supply* yang sumber energinya berasal dari PLN dan yang terbaru adalah dengan penggunaan baterai, baik yang sekali pakai atau isi ulang yang sumber energinya berasal dari PLN juga. Hal ini membuat proses penyaluran energi listrik yang sangat rumit, panjang dan memakan biaya yang tidak sedikit untuk instalasi seperti penggunaan kabel dan

komponen lain untuk mendukung kinerja dari katup kontrol otomatis tersebut.

Karena itu sistem katup kontrol otomatis ini harus dikembangkan, agar keringkasan sumber energi, ketepatan dan ketetapan sistem lebih baik serta pengaturan fluida yang lebih hemat dan baik. Memerlukan suatu sistem panen energi mandiri pada masing-masing katup kontrol otomatis tanpa adanya instalasi rumit dan panjang serta pergantian berulang baterai jika sudah habis. *Energy harvesting* atau pemanenan energi adalah suatu cara untuk memanfaatkan energi yang terbuang di lingkungan dalam bentuk: panas, cahaya, suara dan getaran untuk dikonversi menjadi energi listrik [8]. Menggunakan cara *energy harvesting* dari gerak laju fluida dalam pipa

distribusi. Dimanfaatkan sebagai sumber energi getaran dan tekanan untuk bahan piezoelektrik, yang sebelumnya terbuang percuma. Material piezoelektrik banyak digunakan dalam hal ini karena harganya murah, dapat menghasilkan energi listrik dengan rapat energi yang besar, dan ukurannya kecil sehingga mudah untuk diintegrasikan dengan sistem yang akan diberi daya listrik [9]

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [10][11][12][13] masih banyak nilai tegangan listrik yang dihasilkan berkisar dibawah 5.0V sehingga belum cukup untuk dijadikan sebagai sumber daya bagi perangkat elektronik. Karena belum diterapkannya teknologi *boost converter* mengakibatkan sistem tidak bisa

memberikan level tegangan yang dibutuhkan perangkat elektronik umum, yakni sebesar 5.0V.

Dengan sumber daya piezoelektrik mandiri pada katup kontrol atau keran otomatis ini, proses instalasi untuk distribusi fluida akan sangat mudah dan biaya rendah. Dapat diatur bukaan katup sesuai dengan yang diinginkan terhadap parameter nilai pembacaan jarak dengan sensor, khususnya untuk menghemat pemakaian air bersih pada kegiatan umum.

Dalam penelitian ini akan dikaji rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan menerapkan suatu sumber daya mandiri menggunakan *piezoelectric generator* tekanan fluida untuk menghasilkan sumber energi

berkelanjutan pada perangkat elektronik mikrokontroler arduino promini, sebagai pengendali katup kontrol otomatis tanpa memiliki *wiring* rumit dan panjang dan tanpa menggunakan sumber energi dari PLN.

2. Bagaimana merancang dan menerapkan suatu sistem pengendalian katup kontrol otomatis dengan sangat efisien yang tidak hanya memiliki satu parameter pembacaan sensor terhadap keberadaan suatu benda saja. Akan tetapi, memiliki kemampuan pembacaan sensor untuk mengukur jarak benda sebagai parameter agar didapatkan volume keluar fluida dari katup kontrol otomatis

sesuai dengan kebutuhan (kondisi jarak benda).

3. Bagaimana cara memadukan tiga bagian utama rancangan sistem panen energi mandiri piezoelektrik tekanan fluida, sistem penyaluran energi mandiri, serta sistem katup kontrol otomatis pengendalian volume keluar fluida terukur dari segi konstruksi mekanik dan elektronik termasuk didalamnya terdapat pemrograman.

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat sumber daya mandiri tekanan fluida yang mengalir didalam pipa distribusi menggunakan *piezoelectric generator* yang mampu

membangkitkan perangkat elektronik mikrokontroler arduino promini pengendali katup kontrol otomatis dengan tegangan listrik sebesar 3.3V hingga 5.0V.

2. Membuat katup kontrol otomatis dapat berguna mengatur volume keluar fluida yang lebih hemat dan sesuai kebutuhan dengan cara menggunakan dua parameter pembacaan sensor yang maksimal. Pertama adalah membaca keberadaan suatu benda dan kedua yang utama adalah mengendalikan volume keluar fluida dengan parameter pembacaan pengukuran jarak benda terhadap katup kontrol melalui buka tutup katup kontrol.

3. Membuat sistem panen energi mandiri piezoelektrik tekanan fluida, sistem penyaluran energi mandiri, serta sistem katup kontrol otomatis pengendalian volume keluar fluida terukur. Menjadi satu kesatuan alat dari segi konstruksi mekanik, elektronik dan pemrograman yang saling terhubung dan bekerja bersama.

Adapun penetapan batasan masalah dalam penelitian ini adalah rancang bangun katup kontrol otomatis dengan sumber daya mandiri tekanan fluida didalam pipa distribusi pada bahan Piezoelektrik PZT yang dikenakannya, menggunakan rangkaian Penyearah Dioda *Rectifier*, *Boost Converter*, Modul *Charging* serta baterai Li-Ion sebagai penyimpan energi. Berdasar Arduino Promini

sebagai mikrokontroller dengan *Laser Ranging Sensor VL53L0X ToF* dan aktuator *Micro Servo SG90* sebagai penggerak buka tutup katup kontrol *Ball Valve* yang dirancang khusus untuk alat penelitian ini yaitu katup kontrol otomatis dengan sumber daya piezoelektrik mandiri tekanan fluida.

Katup kontrol otomatis pada penelitian ini dirancang untuk pemakaian ringkas tanpa perlu instalasi rumit dan panjang untuk mendapatkan sumber energinya, cukup dalam satu kesatuan alat ini mendapatkan energi listrik melalui panen energi piezoelektrik dengan tekanan fluida didalam pipa distribusi untuk membangkitkan mikrokontroller, sensor dan aktuator. Serta menghasilkan keluaran volume aliran fluida yang

terukur lebih hemat dan sesuai kondisi yang dibutuhkan.

Manfaat penelitian ini adalah hasil rancang bangun sumber daya piezoelektrik mandiri untuk pengendali otomatis aliran fluida ini dapat digunakan oleh para pelaku berbagai sektor industri khususnya untuk proses distribusi perminyakan yang lebih efisien dan rumah tangga untuk distribusi penggunaan air bersih yang lebih hemat. Terpenting, kajian penelitian ini dapat dijadikan sumber inspirasi dan bahan dasar bagi peneliti lain dalam bidang yang sama untuk penelitian selanjutnya.

2. GELOMBANG & ENERGI

2.1. Definisi Gelombang

Gelombang adalah suatu getaran mekanik yang menjalar melalui suatu medium, kemudian keadaan medium akan kembali ke keadaan semula. Getaran – getaran ini tidaklah acak tetapi berurutan. Sebuah sumber secara tipikal (tranduser) adalah satu atau lebih yang digerakkan dengan cara memberikan tegangan listrik agar bergetar [14].

2.2. Gelombang Transversal dan Longitudinal

Gelombang dengan arah osilasi tegak lurus arah rambat dinamakan gelombang transversal. Gelombang

bunyi yang dihasilkan akibat pemberian tekanan, arah osilasi yang terjadi searah dengan perambatan gelombang. Seperti, gelombang bunyi pada udara dihasilkan dengan memberikan tekanan secara periodik pada salah satu bagian sehingga molekul udara di sekitar tersebut ikut bergetar, peristiwa tersebut disebut perambatan gelombang. Gelombang dengan arah osilasi sama dengan arah rambat gelombang dinamakan gelombang longitudinal [14].

2.3. Besaran - besaran Gelombang

2.3.1. Simpangan

Simpangan adalah jarak perpindahan titik pada medium diukur dari posisi keseimbangan. Selama gelombang merambat, simpangan suatu titik pada medium selalu berubah

– ubah, mulai dari nilai minimum hingga nilai maksimum [14].

2.3.2. Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan maksimum titik dalam medium yang dilewati gelombang. Simpangan maksimum dapat positif maupun negatif. Nilai absolut simpangan maksimum tersebut adalah amplitude [14].

2.3.3. Periode

Periode adalah waktu yang diperlukan oleh suatu titik pada medium kembali ke keadaan osilasi semula [14].

2.3.4. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah osilasi yang dilakukan titik – titik pada medium selama satu detik [14].

2.3.5. Panjang gelombang

Panjang gelombang adalah jarak dua puncak berdekatan atau jarak dua lembah berdekatan, atau jarak antara dua titik yang lokasinya paling dekat yang memiliki keadaan gerak yang sama [14].

2.3.6. Kecepatan osilasi

Kecepatan osilasi mengukur berapa cepat perubahan simpangan titik – titik pada medium. Untuk gelombang transversal, kecepatan osilasi mengukur berapa cepat gerakan naik dan turun simpangan. Untuk gelombang longitudinal, kecepatan osilasi mengukur berapa cepat getaran maju mundur titik – titik dalam medium [14].

2.3.7. Kecepatan rambat gelombang

Kecepatan rambat gelombang mengukur berapa cepat pola osilasi berpindah dari satu tempat ke tempat lain [14].

2.4. Mekanika fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir dan memenuhi setiap ruang yang ada. Fluida terdiri dari dua macam yaitu cairan dan gas. Jarak antara dua molekul tidak tetap berubah terhadap waktu yang disebabkan oleh ikatan lemah antara molekul yang disebut gaya kohesi yaitu gaya tarik antara partikel sejenis. Pada zat cair gaya kohesi sangat besar membentuk kesatuan yang jelas khususnya terhadap wadah yang terisi. Sebaliknya pada zat gas gaya kohesi sangat kecil menyebabkan molekul-molekul gas

menjadi bebas untuk memenuhi ruang yang ada [15].

Ada dua jenis fluida yaitu, fluida statis dan fluida dinamis. Fluida statis adalah zat yang tidak bergerak erat kaitannya dengan massa jenis, tekanan zat cair, hukum pascal, dan tekanan hidrostatis. Fluida dinamis adalah zat yang bergerak, erat kaitannya dengan aliran yang terdiri dari dua macam yaitu aliran lurus atau laminar dan aliran turbulen. Pada aliran lurus atau laminar pergerakan fluida mulus karena tidak ada hambatan atau potongan yang saling mengalir. Pada aliran turbulen terdapat singgungan berupa pusaran disebut arus eddy. Sebagai tambahan ada satu lagi jenis aliran gabungan antara laminar dan turbulen yakni aliran transisi terjadi saat peralihan aliran

laminar menuju turbulen. Terdapat ciri dari aliran fluida berupa aliran tunak atau steady dan aliran tak tunak atau non steady. Aliran tunak adalah aliran yang memiliki kecepatan sama disetiap kondisi dan tempat. Hal ini terjadi jika aliran fluida rendah dan tenang. Aliran tak tunak adalah aliran yang memiliki perbedaan kecepatan disetiap kondisi dan tempat [15].

2.5. Hukum kekekalan energi

Hukum kekekalan energi yaitu "*energi tidak dapat diciptakan atau tidak dapat dimusnahkan, energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain*", energi dapat berubah dari suatu bentuk energi ke bentuk energi lain. Dalam sistem Internasional (SI) satuan energi adalah Joule (J) sedangkan satuan lainnya yaitu kalori, erg, dan kWh

(kilo watt hours). Berkaitan dengan piezoelektrik, terjadi peristiwa perubahan bentuk energi mekanik menjadi energi listrik [16].

2.5.1. Energi mekanik

Energi mekanik adalah penjumlahan antara energi potensial dan energi kinetik. Energi mekanik memiliki persamaan matematis sebagai berikut:

$$E_m = E_k + E_p \quad (1)$$

di mana E_m adalah energi mekanik dalam satuan joule (J), E_p adalah energi potensial dalam satuan joule (J) dan E_k adalah energi kinetik dengan satuan joule (J) [16].

2.5.2. Energi potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki suatu benda karena posisi

benda (memiliki ketinggian). Energi potensial terbagi menjadi 2 yaitu:

a. Energi Potensial Gravitasi merupakan energi yang dimiliki benda berdasarkan ketinggian benda tersebut. Dalam energi potensial gravitasi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ atau } E_p = W \cdot h \quad (2)$$

di mana E_p adalah energi potensial gravitasi dalam satuan joule (J), sedangkan m adalah massa benda dengan satuan kilogram (kg), kemudian g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), h adalah ketinggian atau posisi benda berada (m) serta W adalah berat benda.

b. Sedangkan Energi Potensial Pegas merupakan energi potensial yang dimiliki sebuah pegas saat ditarik

oleh suatu gaya (F) sehingga bertambah panjang (x). Besar energi potensial pegas sama dengan besar usaha gaya pegas, sehingga persamaan energi potensial pegas adalah sebagai berikut:

$$E_p = 1/2 \cdot k \cdot \Delta x^2 \quad (3)$$

di mana E_p sebagai energi potensial pegas dalam satuan joule (J), variabel k sebagai konstanta pegas (N/m) dan Δx adalah pertambahan panjang pegas (m) [16].

2.5.3. Energi kinetik

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena pengaruh gerak benda tersebut. Sehingga benda yang bergerak memiliki energi kinetik. Persamaan energi kinetik sebagai berikut:

$$E_k = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

(4)

di mana E_k sebagai energi kinetik dalam satuan joule (J), variabel m adalah massa benda dalam kilogram (kg) dan variabel v sebagai kecepatan benda (m/s) [16].

2.5.4. Energi listrik

Energi listrik merupakan kemampuan untuk melakukan atau menghasilkan usaha listrik (kemampuan yang diperlukan untuk memindahkan muatan dari satu titik ke titik yang lain). Jika arus listrik mengalir pada suatu penghantar yang berhambatan R , maka sumber arus akan mengeluarkan energi pada penghantar yang bergantung pada beda potensial atau tegangan pada ujung-ujung

penghantar (V), kuat arus yang mengalir pada penghantar (I) dan waktu atau lamanya arus mengalir (t). Energi listrik dilambangkan dengan (P). Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menentukan besar energi listrik sebagai berikut [16]:

$$P = Q.V \quad (5)$$

di mana P adalah energi listrik dalam satuan watt (W), Q adalah muatan listrik dalam satuan coulomb (C) dan V adalah beda potensial listrik dalam satuan volt (V). Karena kuat arus listrik atau $I = Q/t$ maka diperoleh persamaan untuk kapasitas penyimpanan energi sebagai berikut [16]:

$$Q = I.t \quad (6)$$

Dengan keterangan:

Q = Kapasitas baterai (mAh)

$I = \text{Arus (mA)}$

$t = \text{Jam/Hour (h)}$

Dan jika untuk daya yang dihasilkan maka persamaannya sebagai berikut

[16]:

$$P = I \cdot V \quad (7)$$

Dengan keterangan:

$P = \text{Daya (W)}$

$V = \text{Tegangan (V)}$

Apabila persamaan tersebut dihubungkan dengan hukum Ohm ($V = I \cdot R$) maka diperoleh persamaan sebagai berikut [16]:

$$P = I^2 \cdot R \quad (8)$$

Dengan keterangan:

$R = \text{Hambatan } (\Omega)$

2.6. Potensial listrik dan Kapasitor

Potensial listrik didefinisikan sebagai energi potensial per satuan muatan

listrik. Bila menggunakan definisi energi potensial maka potensial listrik semesta – semesta bergantung pada medan listrik dan tidak bergantung pada muatan yang ditempatkan dalam medan tersebut.

Kapasitor adalah piranti elektronik yang dapat menyimpan muatan listrik. Kemampuan kapasitor menyimpan muatan listrik diungkapkan oleh besaran yang namanya kapasitansi. Makin besar kapasitansi sebuah kapasitor, maka makin besar pula muatan yang dapat disimpan kapasitor tersebut. Ukuran kapasitor merepresentasikan kemampuan menyimpan muatan. Makin besar ukuran kapasitor maka makin banyak muatan yang dapat disimpan [16].

2.7. Listrik Arus Searah (*Direct Current*)

Muatan listrik ada yang bertanda positif dan ada yang bertanda negatif. Arah arus listrik didefinisikan searah dengan arah aliran muatan positif. Muatan listrik dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lain karena adanya beda potensial. Tempat yang memiliki potensial tinggi melepaskan muatan ke tempat yang memiliki potensial rendah. Besarnya arus yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial, V , antara dua tempat, atau $I \propto V$ [14].

2.7.1. Hambatan listrik

Semua material memiliki hambatan listrik. Benda yang tidak dapat dialiri arus listrik dinamakan isolator. Sebaliknya, logam memiliki hambatan yang sangat kecil. Dengan

memberi beda potensial yang kecil saja antara dua ujungnya, arus yang mengalir cukup besar. Material yang mudah dialiri arus listrik dinamakan konduktor.

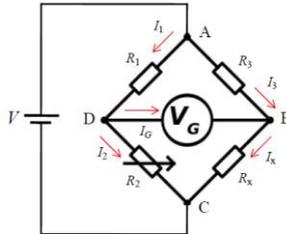
Hambatan listrik yang dimiliki bahan memiliki sifat – sifat sebagai berikut [14]:

1. Makin besar jika bahan makin panjang.
2. Makin kecil jika ukuran penampang bahan makin besar.

2.7.2. Jembatan Wheatstone

Rangkaian ini sering digunakan sebagai sensor yang dapat mendeteksi arus yang cukup kecil. Rangkaian jembatan Wheatstone dapat dilihat pada Gambar 2.1. Penggunaan jembatan Wheatstone biasa diatur sehingga arus yang mengalir melalui jembatan (arus yang mengalir dari titik

D ke titik B) dibuat nol. Pola arus tersebut dilakukan dengan mengatur hambatan R_2 yang biasanya merupakan potensiometer. Hambatan R_2 diperbesar atau diperkecil sehingga arus yang mengalir pada jalur tersebut nol [14].



Gambar 2.1. Rangkaian dan asumsi aliran dalam Jembatan Wheatstone

2.8. Listrik Arus Bolak – Balik (AC)

Arus bolak-balik ialah arus yang arahnya berubah secara bergantian. Suatu saat arus ke kanan, kemudian berubah menjadi ke kiri sampai seterusnya. Arus bolak-balik adalah

arus yang tandanya bergantian positif dan negatif atau selalu bergantian. Osilasi arus bolak – balik sulit diamati, khususnya yang memiliki frekuensi tinggi. Untuk melihat osilasi arus bolak – balik dapat menggunakan osiloskop. Osiloskop dapat menampilkan gambar tegangan yang berosilasi hingga frekuensi beberapa megahertz [14].

2.9. Limbah energi aktivitas manusia (*Waste Mechanical Energy*)

Pesatnya perkembangan teknologi saat membuat penggunaan energi listrik semakin besar. Pemenuhan kebutuhan energi listrik di dunia dan Indonesia gencar dilakukan. Mulai dari pemenuhan dengan metode konvensional seperti penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi primer

pembangkit listrik namun dampaknya sangat luar biasa terhadap lingkungan. Metode konvensional sedikit demi sedikit mulai dikesampingkan. Perkembangan teknologi pembangkit energi listrik yang ramah lingkungan serta memanfaatkan energi dari alam gencar dilakukan riset serta penelitiannya. Beberapa di antara adalah panas bumi atau geothermal, *photovoltage* atau panel surya, turbin angin, gelombang laut dan masih banyak lagi.

Selain energi-energi tersebut, penelitian lain juga dilakukan memanfaatkan energi dari aktivitas sehari-hari seperti aktivitas manusia. Manusia saat beraktivitas tentunya memerlukan energi, energi yang dilepaskan oleh para peneliti dikategorikan sebagai energi yang terbuang sia-sia. Namun

sebenarnya memiliki potensi dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain berdasarkan asas kekekalan energi. Salah satunya adalah energi mekanik berupa tekanan atau getaran yang berasal dari aktivitas manusia (*Waste Mechanical Energy*) [9].

Tabel 2.1. Sumber energi mekanik disekitar kita yang dapat dipanen menjadi energi listrik

Tubuh Manusia/Getaran	Transportasi	Infrastruktur	Industri	Lingkungan
Menarik nafas, mengeluarkan nafas,	Pesawat, mobil, kereta,	Jembatan, jalanan, terow	Motor, kompresor, chiller	Angin, arus/ombak laut, gelombang

aliran/ tekana n darah, berjala n, geraka n tangan , geraka n jari, jogging , talking	roda, track, pedal , rem, mesin turbin, getar an, noise	ongan , kebun, struktur rumah , kendal i saklar, pipa gas / air, sistem AC	, pom pa, kipas, getar an, pemo tong, <i>dicin</i> g, noise	mban g akusti k
--	---	---	---	--------------------------

2.10. Piezoelektrik

Piezoelektrik adalah bahan yang dapat menghasilkan energi listrik ketika diberikan tekanan serta regangan secara mekanik begitupun sebaliknya,

saat energi listrik dialirkan pada bahan maka akan terjadi perubahan bentuk pada bahan piezoelektrik berupa volume yang bertambah dan berkurang. Piezoelektrik terbentuk dari bahan keramik yang terkutub menghasilkan molekul bermuatan positif dan negatif berupa elektroda yang terdapat di kedua sisi secara berlawanan yang menghasilkan energi listrik oleh gaya mekanik yang diterapkan.

Digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sensor tekanan, penyimpanan data, aktuasi mekanik, gelombang ultrasonik dan pemanenan energi. Karena berbagai aplikasi ini, sejumlah besar material telah dikembangkan. Efek piezoelektrik ditemukan oleh Jacques dan Pierre Curie pada tahun

1880. Penemuan tersebut menunjukkan beberapa jenis kristal yang mengalami regangan mekanik menjadi terpolarisasi secara elektrik (*Direct Piezoelectric Effect*). Tingkat polarisasi sebanding dengan regangan yang diterapkan. Selain itu terdapat efek piezoelektrik terbalik (*Indirect Piezoelectric Effect*), material piezoelektrik berubah bentuk (dimensi) saat diterapkan tegangan listrik. *Direct* dan *indirect piezoelectric effect* dapat diamati pada Gambar 2.3.



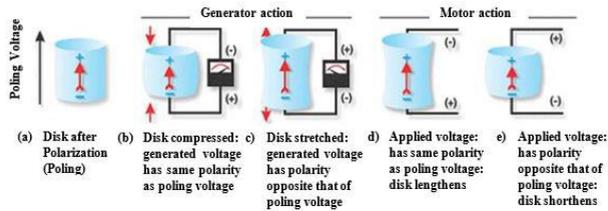
Gambar 2.2. Elemen Piezoelektrik [17].

Bahan piezoelektrik klasifikasi berikut mencakup yang paling banyak tersedia [18]:

1. Kristal: Kuarsa (SiO_2), Berlinite (AlPO_4), Gallium Ortophosphate (GaPO_4), Turmalin, dll.
2. Keramik polikristalin: Barium titanat (BaTiO_3), Lead Zirconate Titanate (PZT)
3. Bahan *Thin Film Non-feroelectric*: Sputtered zinc oxide (ZnO), Aluminium Nitrida (AlN).
4. Bahan polimer: *Polyvinylidene fluoride* (PVDF).
5. *Screen printable thick-films* yang dapat dicetak berdasarkan bubuk *piezoceramic* dan komposit seperti *polivinilidena-trifluoroetilena-PZT*

(PVDF-TrFE).

6. Kristal organik: *single-crystal diisopropylammonium chloride* (DIPAC) dan *diisopropylammonium bromide* (DIPAB).



Gambar 2.3. Direct & Indirect Piezoelectric Effect saat material piezoelektrik menghasilkan potensial listrik dan diberi potensial listrik [19].

2.11. Sistem pemanen energi

Pemanen energi diartikan sebagai upaya menghimpun atau mengumpulkan energi yang nilainya relatif kecil kemudian disimpan dalam

suatu media penyimpanan sehingga terakumulasi menjadi energi yang lebih besar dan dapat digunakan. Sistem pemanen energi identik dengan pemanfaatan energi yang terbuang dari aktivitas sehari-hari. Energi tersebut dikonversi menjadi bentuk energi lain salah satunya adalah energi listrik.

Bahan piezoelektrik menghasilkan tegangan keluar berbentuk rangkaian sinyal impuls tidak dapat digunakan langsung, harus dibutuhkan suatu sistem pemanenan energi. Sistem pemanenan energi terdiri atas rangkaian penyearah, *boost converter*, modul *charging* dan media penyimpanan. Rangkaian penyearah berfungsi mengkonversi suatu tegangan AC menjadi tegangan DC yang memiliki tegangan dan arus tertentu. Rangkaian penyearah, *boost*

converter, serta modul *charging* dibutuhkan untuk merubah tegangan masukan yang berupa impuls menjadi suatu tegangan DC yang lebih kontinu. Salah satu yang dapat digunakan adalah rangkaian dioda *rectifier*. Dioda *rectifier* adalah suatu rangkaian penyearah yang didalamnya terdapat empat dioda jenis *rectifier* digunakan sebagai pemanen energi dari piezoelektrik tegangan keluaran AC. Setelah energi listrik dipanen oleh rangkaian penyearah, lalu melewati *boost converter* untuk dinaikan tegangannya yang langsung disalurkan oleh modul *charging* dan disimpan pada baterai.

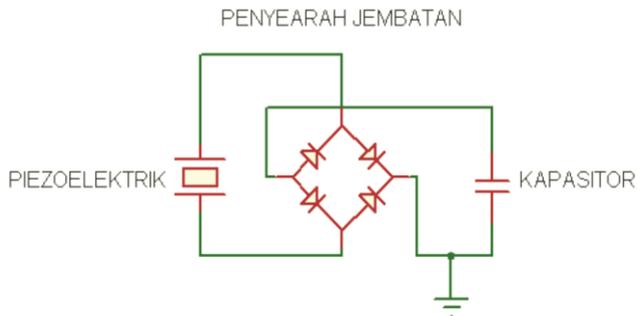
Energi yang dihasilkan oleh sistem pemanen energi cenderung ramah lingkungan bahkan ada diantaranya

yang *zero emission* sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mengoptimalkan sistem pemanen energi. Seperti yang telah dibahas pada tinjauan pustaka diatas, sistem pemanen energi khususnya yang digunakan untuk memanen energi listrik dari piezoelektrik cukup beragam. Mulai metode yang sangat sederhana hingga yang lebih kompleks untuk mengoptimalkan energi yang dihasilkan piezoelektrik. Metode-metode tersebut diantaranya adalah sebagai berikut [20]:

2.11.1. Metode *Rectifier* dan Kapasitor

Keluaran yang bersifat impuls serta adanya *direct* dan *indirect effect* mengharuskan keluaran tersebut diubah menjadi lebih stabil agar dapat disimpan pada media penyimpanan

sekunder seperti baterai atau kapasitor. Sistem penyearah yang biasanya digunakan mengubah listrik AC menjadi DC dapat juga digunakan untuk upaya menstabilkan keluaran tersebut. Keluaran piezoelektrik dapat bersifat positif (+) dan negatif (-), dengan sistem penyearah maka keluaran yang dihasilkan hanya bersifat tegangan positif atau DC positif yang kemudian baru dapat disimpan atau digunakan pada rangkaian listrik DC.



Gambar 2.4. Skema sederhana metode pemanen energi piezoelektrik

dengan jembatan penyearah dan kapasitor [20].

a. *Rectifier* atau Penyearah

Pada metode ini, berlaku prinsip penyearahan yang biasa digunakan dalam mengkonversi input AC menjadi output DC. Adapun prinsip dasar penyearahan tersebut adalah sebagai berikut:

1) Half Wave Rectifier

Half Wave Rectifier atau Penyearah Setengah Gelombang secara sederhana menggunakan satu buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC. Pada saat sumber memberikan output sisi positif dari gelombang AC maka dioda

dalam keadaan *forward bias* sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat sumber memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi *reverse bias*, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan.

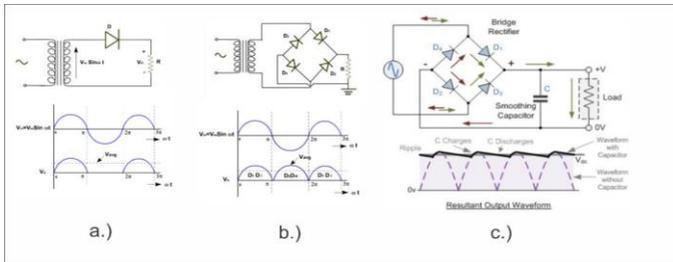
2) Full-Wave Rectifier

Full-wave rectifier menggunakan 2 atau 4 dioda untuk menyearahkan gelombang AC. *Full-wave rectifier* dengan 4 dioda yang paling sering digunakan. Prinsip kerjanya dimulai pada saat output sumber memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi *forward bias* dan D2, D3 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4.

Kemudian pada saat output sumber memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi *forward bias* dan D1, D2 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4.

3) *Full-Wave Rectifier* dengan Kapasitor.

Pada Gambar 2.5. untuk *full-wave rectifier* didapatkan *ripple* yang cukup besar. Sehingga di pasang kapasitor untuk mengurangi besar *ripple* tersebut. Hasil dari pengurangan *ripple* bergantung pada kapasitas kapasitor yang digunakan.



Gambar 2.5. a.) Half-Wave Rectifier, b.) Full-Wave Rectifier, c.) Full-Wave Rectifier dengan kapasitor beserta gelombang output.

b. Kapasitor

Kapasitor adalah salah satu jenis komponen elektronika yang memiliki kemampuan dapat menyimpan muatan arus listrik di dalam medan listrik selama batas waktu tertentu dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan arus listrik tersebut. Kapasitor juga memiliki sebutan lain, yakni

kondensator dan dikategorikan sebagai komponen elektronika pasif.

Fungsi dari kapasitor sendiri bermacam-macam diantaranya adalah:

- 1) Sebagai Penyimpan sebuah arus atau tegangan listrik
- 2) Sebagai konduktor yang bisa melewatkan arus AC (*Alternating Current*)
- 3) Sebagai isolator yang bisa menghambat arus DC (*Direct Current*)
- 4) Sebagai filter (penyaring) dalam rangkaian *power supply* (Catu Daya)
- 5) Sebagai pembangkit frekuensi dalam rangkaian osilator
- 6) Sebagai penggeser fasa.
- 7) Sebagai pemilih gelombang frekuensi (Kapasitor Variabel yang digabungkan

dengan Spul Antena dan Osilator)

8) Sebagai kopling.

Sedangkan kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik disebut sebagai kapasitansi kapasitor. Muatan listrik (Q) berbanding lurus dengan beda potensial (V) yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [16]:

$$C = Q/V \quad (9)$$

di mana variabel C adalah kapasitansi kapasitor dalam satuan Farad (F), Q adalah muatan yang tersimpan dalam satuan Coulomb (C) serta V adalah Beda potensial atau tegangan dalam satuan Volt (V).

2.11.2. Metode *Integrated Circuit* (IC) – LTC-3588

Seiring berkembangnya pengetahuan mengenai komponen

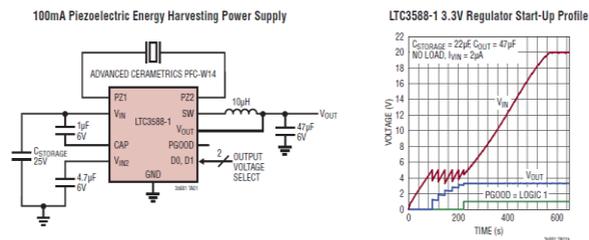
elektronika dan produksinya yang dikemas dalam bentuk yang kecil namun terintegrasi sehingga lebih sederhana dalam bentuk *integrated circuit* (IC). Suatu sistem pemanen energi menjadi lebih sederhana dari segi rangkaian serta ukuran rangkaian dan komponen yang digunakan namun dengan kemampuan yang lebih optimal. Metode pemanen energi menggunakan modul IC sebenarnya adalah penggabungan metode-metode sebelumnya seperti penggunaan *rectifier* dan konverter DC-DC namun dibuat sederhana dan di-integrasi dalam sebuah *chip* pemanen energi. Salah satu yang digunakan dalam sistem pemanen energi adalah LTC3588 *energy harvester module*.

a) LTC3588-1

LTC3588-1 mengintegrasikan jembatan penyearah gelombang penyearah dengan resolusi rendah dengan konverter buck efisiensi tinggi untuk menghasilkan pemanenan energi untuk sumber energi impedansi keluaran tinggi seperti transduser piezoelektrik. Mode *ultralow quiescent current undervoltage lockout* (UVLO) terdapat celah histeresis yang lebar memungkinkan muatan menumpuk pada kapasitor input sampai konverter buck secara efisien mentransfer sebagian muatan yang tersimpan ke output.

LTC3588-1 memasuki keadaan *sleep* dimana arus input dan output minimal. Konverter buck menyala dan mati

sesuai kebutuhan untuk menjaga regulasi. Empat tegangan keluaran yaitu 1.8V, 2.5V, 3.3V dan 3.6V (*selectable*) serta arus keluaran kontinyu mencapai hingga 100mA; Namun, kapasitor output mungkin berukuran untuk melayani ledakan arus keluaran yang lebih tinggi. *Shunt* pelindung masukan yang dipasang pada 20V memungkinkan energi lebih besar.



Gambar 2.7. Skematik rangkaian LTC3588-1 dan Grafik karakteristik Input-Output rangkaian (Datasheet).



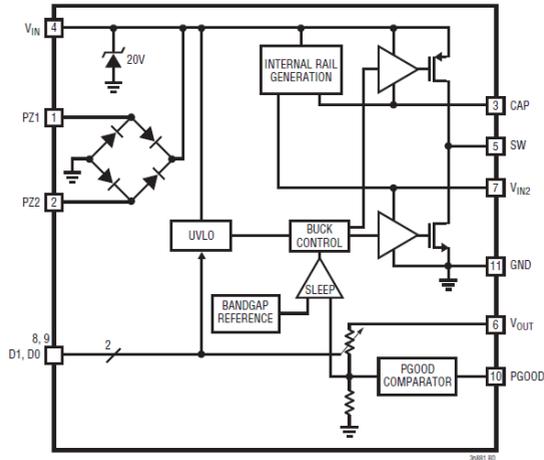
FEATURES

- 950nA Input Quiescent Current (Output in Regulation – No Load)
- 450nA Input Quiescent Current in UVLO
- 2.7V to 20V Input Operating Range
- Integrated Low-Loss Full-Wave Bridge Rectifier
- Up to 100mA of Output Current
- Selectable Output Voltages of 1.8V, 2.5V, 3.3V, 3.6V
- High Efficiency Integrated Hysteretic Buck DC/DC
- Input Protective Shunt – Up to 25mA Pull-Down at $V_{IN} \geq 20V$
- Wide Input Undervoltage Lockout (UVLO) Range
- Available in 10-Lead MSE and 3mm × 3mm DFN Packages

Gambar 2.8. LTC3588-1 beserta fiturnya (Datasheet)

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa LTC3588 juga dikategorikan *buck converter*. Rangkaian equivalen dari IC LTC3588 dapat diamati pada Gambar 2.9. Tiap pin kaki memiliki

fungsi masing-masing dan dapat diamati pada Tabel 2.3.



Gambar 2.9. Blok diagram rangkaian equivalen dari LTC3588 (Datasheet).

Sedangkan pengaturan tegangan output atau pemilihan mode output dapat dilakukan dengan mengubah logika D0 dan D1 dengan menghubungkannya ke VIN2 untuk mendapat logika 1 (HIGH) atau GND untuk mendapat logika 0 (LOW).

Adapun mode keluaran tersebut dapat diamati pada Tabel 2.4 berikut.

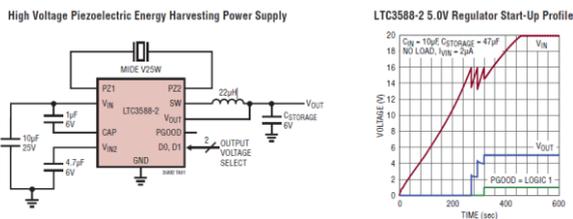
Tabel 2.4. Mode output LTC3588-1

D1	D0	Vout	Vout Quiescent Current (I_{vout})
0	0	1.8V	44nA
0	1	2.5V	64nA
1	0	3.3V	81nA
1	1	3.6V	89nA

b) LTC3588-2

LTC3588-2 adalah versi lanjutan LTC3588-1. Sehingga sistem kerjanya tidak jauh berbeda dengan LTC3588-1 begitupun skematiknya yang dapat diamati pada Gambar 2.11. Sama seperti LTC3588-1, terdapat juga mode *ultralow quiescent current undervoltage lockout (UVLO)* dengan

tegangan 16 V. Terdapat empat tegangan keluaran yang dapat diatur yaitu 3.45, 4.1V, 4.5V dan 5.0V (*selectable*) serta arus keluaran kontinyu mencapai hingga 100mA. Hal tersebut yang membedakan LTC3588-2 dengan vesri sebelumnya, output tegangan dan arus yang dihasilkan cocok untuk baterai Li-Ion dan Li-Fe serta sama baiknya dengan penggunaan superkapasitor.



Gambar 2.10. Skematik rangkaian LTC3588-2 dan Grafik karakteristik Input-Output rangkaian (Datasheet).

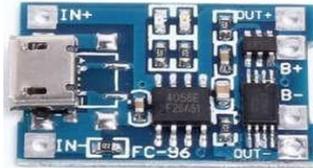
Jumlah pin kaki, konfigurasi pin kaki dan rangkaian ekuivalen yang dimiliki LTC3588-2 sama seperti LTC3588-1. Begitupun untuk pengaturan tegangan output atau pemilihan mode output dapat dilakukan dengan mengubah logika D0 dan D1 dengan menghubungkannya ke VIN2 untuk mendapat logika 1 (HIGH) atau GND untuk mendapat logika 0 (LOW). Adapun mode keluaran tersebut dapat diamati pada Tabel 2.5. berikut.

Tabel 2.5. Mode output LTC3588-2

D1	D0	Vout	Vout Quiescent Current (I_{vout})
0	0	3.45V	86nA
0	1	4.1V	101nA
1	0	4.5V	111nA
1	1	5.0V	125nA

2.12. Modul Charging

Modul ini memiliki beberapa fitur, diantaranya pemutusan arus saat daya pada baterai telah terisi penuh, menonaktifkan pengisian saat tegangan masukan rendah (*under voltage lockout*) dan memiliki indikator berupa LED merah yang akan menyala saat pengisian dilakukan dan mati saat baterai telah terisi penuh. Modul ini menggunakan IC TP4056 yang merupakan IC pengisi ulang linear untuk baterai lithium-ion sel tunggal dengan arus dan tegangan konstan yang dilengkapi dengan sistem pengaturan suhu. Arus pengisian standar modul ini sebesar 1000 mA namun dapat disesuaikan dari 50mA hingga 1000mA [21].



Gambar 2.11. Modul *Charging*

Dalam penelitian ini digunakan baterai 300mAh. Besarnya arus pengisian untuk mengisi ulang baterai berdasarkan lembar data direkomendasikan sebesar 40% kapasitas baterai yang akan diisi.

2.13. Baterai Li-Ion

Baterai merupakan sebuah alat yang tersusun dari satu atau lebih sel elektrik yang dapat menghasilkan listrik dari sebuah reaksi kimia. Secara umum baterai dikelompokkan menjadi 2, yakni baterai primer dan baterai sekunder. Baterai Lithium Ion (Li-ion) merupakan jenis baterai sekunder (*rechargeable*) yang banyak digunakan pada

peralatan elektronika portabel seperti: *smartphone*, *bluetooth speaker*, kamera digital maupun laptop. Banyak keunggulan baterai ini dibandingkan dengan jenis baterai sebelumnya, diantaranya memiliki *lifecycle* yang panjang (500-1000 siklus), memiliki *memory effect* yang kecil dan tegangan kerja yang tinggi (3.7 V) [22]. Semua jenis baterai *rechargeable* mengalami penurunan dalam hal kapasitas penyimpanan energi, yang mana hal ini berpengaruh pada berapa lama masa pemakaian baterai tersebut. Jika dibandingkan baterai dengan bahan nikel (NiMH), baterai Li-ion memiliki *self-discharge* sekitar 5% perbulan dengan tegangan kerja 3.7V, sedangkan baterai NiMH memiliki *self discharge* sebesar 20% perbulan

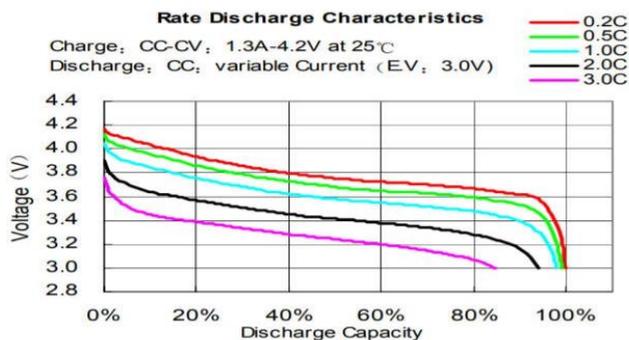
dengan tegangan kerja 1.2V. Dari hal ini terlihat bahwa baterai Li-ion memiliki masa pemakaian lebih lama dan tegangan kerja yang lebih tinggi. Baterai Li-ion umumnya dapat bertahan hingga 1000 kali pengisian ulang [22]. Walaupun memiliki banyak kelebihan, baterai jenis ini tetap memiliki kelemahan yakni sensitif terhadap suhu tinggi sehingga mudah untuk terbakar atau meledak. Pada penelitian ini digunakan baterai Li-ion sebagai media penyimpanan energi.



Gambar 2.12. Baterai Li-Ion

Baterai yang ideal memiliki hubungan yang stabil antara arus dengan waktu *discharge*. Namun pada kenyataannya

tidak, nilai mAh hanya menyatakan estimasi dari energi yang tersimpan pada suatu baterai. Semakin besar arus yang dialirkan ke beban maka baterai akan mengalami penurunan tegangan dan kenaikan hambatan dalam. Hal ini yang menyebabkan kapasitas baterai akan lebih cepat habis dibandingkan dengan nilai kapasitas yang tertera pada baterai.



Gambar 2.13. Discharge curve
baterai Li-Ion

2.14. Boost Converter

Boost converter adalah rangkaian elektronika daya yang menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dibandingkan tegangan masukan. *Boost converter* tergolong dalam konverter DC-DC kelas *switch mode power supply* (SMPS) yang terdiri dari komponen semikonduktor daya berupa dioda dan MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), induktor sebagai element penyimpan energi dan kapasitor sebagai filter untuk mengurangi riak tegangan pada masukan dan keluaran dari *boost converter* [23]. MOSFET berfungsi sebagai saklar yang dapat membuka dan menutup rangkaian sehingga besarnya arus dapat dikendalikan. Pengendalian MOSFET dilakukan

dengan memberikan *duty cycle* pada kaki *gate* dari MOSFET [23]. *Boost converter* yang digunakan adalah modul *boost converter* terkecil memiliki spesifikasi tegangan masukan mulai dari 0.8V sampai 2.9V, dengan tegangan keluar 5.0V. Minimal arus keluar sebesar 7mA dan maksimal 480mA [24].



Gambar 2.14. *Boost Converter*

2.15. Pengendalian aliran fluida

Pengendalian aliran fluida dalam pembuatan alat ini sangat penting. Karena jika aliran fluida keluarannya memiliki error yang besar maka volume akhir juga akan memiliki error yang besar, otomatis fluida yang keluar tidak

dapat dipastikan dan terukur dengan tepat.

Sistem pemrograman dibuat dengan perangkat lunak arduino IDE dan mikrokontroller arduino promini. Katup kontrol digunakan untuk mengendalikan aliran fluida sehingga diperoleh sesuai keinginan. *Ball valve* adalah jenis yang dipakai dalam mengatur aliran fluida, dengan merancang khusus untuk dipergunakan pada alat penelitian. Terbuka dan tertutup *ball valve* dengan menggunakan *micro servo SG90* sebagai aktuator.

2.16. Arduino Promini

Arduino promini hampir sama dengan arduino mega promini yaitu merupakan papan tunggal mikrokontroler serba guna yang bisa diprogram dan bersifat opensource. Memiliki fleksibilitas, biaya

rendah, dan ukuran kecil dengan minimum komponen (tidak ada on-board USB atau pin header) untuk menekan biaya. Arduino Promini adalah papan yang sangat tepat untuk tertanam dalam sebuah proyek. Ada dua jenis papan, satu yang beroperasi pada 5.0V (seperti kebanyakan papan Arduino), dan satu yang beroperasi pada 3.3V. Dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA. Pastikan untuk memberikan daya yang benar dan menggunakan komponen yang tegangan operasinya cocok dengan papan [25].

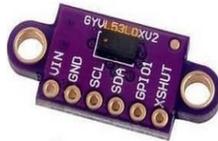


Gambar 2.15. Arduino Promini

2.17. Laser ranging sensor 940nm VL53L0X ToF

VL53L0X adalah modul Time-of-Flight generasi baru (ToF) laser yang terkecil saat ini, menyediakan pengukuran jarak akurat terhadap apa pun reflektansi target, tidak seperti teknologi konvensional. Dapat mengukur jarak akurat hingga 2 meter dalam waktu kurang dari 30ms, mengatur tolak ukur baru dalam rentang tingkat kinerja, *opensource* ke berbagai aplikasi baru. VL53L0X mengintegrasikan SPAD terdepan array (*Single Photon Avalanche Diodes*) dan menanamkan FlightSense™ generasi kedua ST teknologi yang dipatenkan. Pemancar VCSEL 940nm VL53L0X (*Vertikal Cavity Surface-Emitting Laser*), sama sekali tidak terlihat ke mata manusia dan ketika

digabungkan dengan fisik filter inframerah memungkinkan jarak jangkauan lebih jauh, kekebalan yang lebih tinggi terhadap cahaya sekitar dan struktur lebih baik untuk *cross-talk* optik kaca penutup [26].



Gambar 2.16. *Laser Ranging Sensor*
940nm VL53L0X ToF

2.18. Micro servo SG90

Servo kecil dan ringan dengan daya output tinggi dengan berat 9 gram, dimensi sekitar 22.2 x 11.8 x 31 mm. Servo dapat memutar sekitar 180 derajat dengan kecepatan pengoperasian 0.1 s / 60 derajat, dan bekerja seperti sesuai standar tegangan pengoperasian 4.8 V (~ 5V) tetapi dengan ukuran lebih kecil.

Dapat menggunakan pemrograman servo juga telah tersedia perangkat keras dan pustaka apa pun untuk mengontrolnya. Baik untuk membuat barang bergerak dengan pengontrol motor umpan balik dan *gear box*, terutama karena akan dapat ditempatkan dalam ukuran kecil dan suhu kerja kisaran 0 °C - 55 [27].

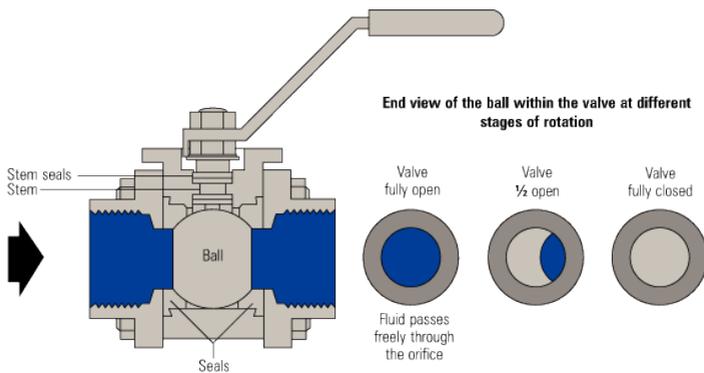


Gambar 2.17. Micro Servo SG90

2.19. Ball valve

Ball valve adalah katup tipe bola yang terdapat *sphere* (bulatan seperti bola) berlubang. *Ball valve* dapat di tutup hanya dengan $\frac{1}{4}$ (seperempat) putaran,

jadi kita dapat mengatur alirannya dari sudut 0 sampai dengan 90. Karena bentuknya yang bulat, lubang yang berada pada *ball valve* dapat membuat ruangan yang lurus sesuai diameter dalam pipa (*fullbore*) atau lebih kecil dari diameter dalam pipa (*non fullbore*) [28].



Gambar 2.18. *Ball Valve*

Ball valve yang *fullbore* biasanya untuk *pigging*, yaitu untuk *check* pipa dengan alat khusus yang di masukan ke dalam pipa. Alat ini nantinya akan berjalan

didalam pipa untuk *check* adakah kerusakan di pipa (*defect*). Jika tidak *fullbore*, proses *pigging* dapat terkendala.

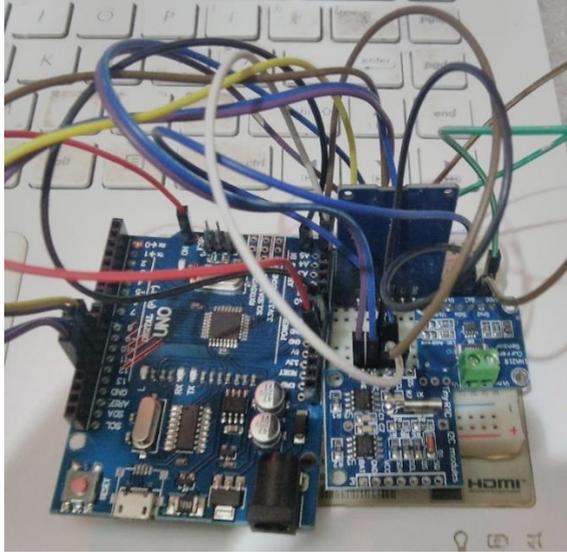
Ball valve umumnya menggunakan tuas (*handle*) untuk mekanisme buka dan tutupnya, walaupun ada juga yang berbentuk seperti stir (*whell*). Keuntungan menggunakan tuas, kita bisa menutup hanya dengan seperempat putaran yaitu 90 derajat. Keuntungan seperempat putaran dalam *ball valve* ini adalah dapat ditutup dengan cepat, namun kelemahannya dapat menyebabkan *water hammer*. Karena alasan itulah, sebaiknya jangan terlalu cepat menutup *ball valve*, tutup dengan perlahan [28].

2.20. Data logger

Data logging adalah proses otomatis pengumpulan dan perekaman data sensor untuk tujuan pengarsipan dan analisa. *Data logger* (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang merekam data dari waktu ke waktu melalui sensor yang terintegrasi didalamnya maupun dari sensor eksternal. Secara singkat *data logger* dapat dikatakan sebagai alat yang berfungsi untuk melakukan *data logging*.

Pada penelitian ini dirancang sebuah *data logger* sederhana menggunakan arduino UNO sebagai kontrolernya. Media penyimpanan pada *data logger* menggunakan modul *micro SD card* catalex. Data tersebut nantinya akan disimpan dalam *SD card* yang terpasang pada modul *micro SD card*.

Pencatatan waktu ke waktu untuk setiap data yang terekam dilakukan dengan menggunakan modul *real time clock* buatan Tiny RTC. Dengan ketiga komponen tersebut maka data yang diinginkan dapat direkam setiap waktunya dan disimpan dalam *SD card*. Selanjutnya data pada *SD card* dapat diekspor ke perangkat lunak pengolah data seperti ms.excel untuk dilakukan analisa secara manual. Pada Gambar 2.19. ditunjukkan rangkaian *data logger* dengan menggunakan komponen arduino UNO, modul *micro SD card* dan modul RTC.

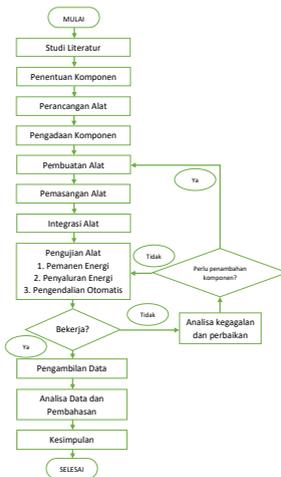


Gambar 2.19. Rangkaian data logger

3. SUMBER DAYA PIEZOELEKTRIK MANDIRI UNTUK PENGENDALI OTOMATIS ALIRAN FLUIDA

3.1. Kerangka Berpikir

Tahapan penelitian yang dilakukan tertera dalam bentuk diagram alir berikut:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Berikut penjelasan dari tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan oleh penulis serta mengetahui hubungannya.

b. Penentuan komponen

Komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan *piezoelectric* PZT. Faktor penting dalam pemilihan spesifikasi *piezoelectric* PZT yakni tekanan getaran kerja pada sisi permukaan *piezoelectric* dan besarnya tegangan dalam *piezoelectric*.

c. Perancangan alat

Perancangan alat terdiri dari tiga bagian, yakni perancangan pemanen energi, penyaluran energi, dan pengendalian otomatis. Perancangan konstruksi pemanen energi dan pengendalian otomatis dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCAD mechanical 2017. Perancangan pemrograman pengendalian otomatis menggunakan perangkat lunak arduino IDE.

d. Pengadaan komponen

Pengadaan komponen yang terdiri dari alat dan bahan disesuaikan dengan spesifikasi dan jumlah yang dibutuhkan berdasarkan rancangan alat.

e. Pembuatan alat

Pembuatan pemanen energi dilakukan sesuai dengan hasil

rancangan menggunakan mesin *3d printer* dengan perangkat lunak pencetaknya yaitu *ultimaker cura*. Pembuatan penyaluran energi berupa penyolderan komponen-komponen yang dikerjakan oleh penulis.

f. Pemasangan dan integrasi alat

Perakitan alat yang terdiri dari tiga bagian disesuaikan dengan rancangan alat dan tata letak pada katup kontrol otomatis dan dihubungkan melalui pengkabelan.

g. Pengujian alat

Pengujian alat dilakukan pada masing-masing bagian alat yang terdiri dari pemanen energi, penyaluran energi, dan pengendalian otomatis. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan ketiga bagian dapat bekerja dengan baik untuk kemudian diintegrasikan dan

diuji secara keseluruhan. Setelah dilakukan pengujian dan perakitan terhadap tiga bagian alat maka selanjutnya dilakukan pengujian alat secara keseluruhan untuk mengetahui hasil dan kehandalan dari alat yang dibuat.

i. Pengambilan data

Pada tahap ini data yang diambil berupa tekanan fluida, tegangan, kenaikan tegangan *bost converter*, arus pengisian baterai, beban berupa mikrokontroller, waktu pengisian baterai Li-Ion, daya listrik yang dihasilkan, pengujian pembacaan jarak benda dengan sensor sebagai parameter terbuka dan tertutupnya *ball valve*, dan volume keluar fluida.

j. Analisa data dan pembahasan

Analisa data dilakukan untuk melihat karakteristik dari alat yang dibuat dan mengetahui performa alat dalam menghasilkan energi listrik untuk mikrokontroller dan pengendalian katup kontrol otomatis.

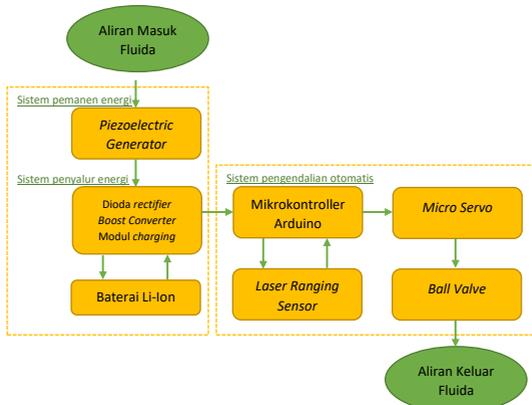
k. Penyusunan laporan

Tahapan akhir dalam penelitian ini merupakan penyusunan laporan yang berisikan seluruh kegiatan penelitian dari awal hingga akhir.

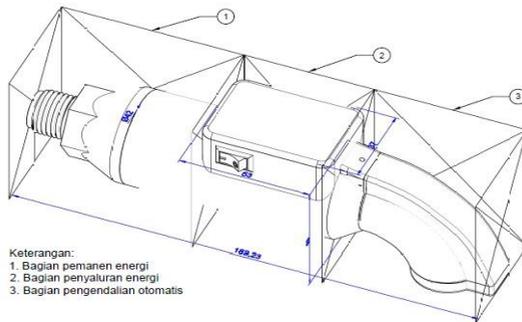
3.2. Perancangan Alat

Perancangan katup kontrol otomatis dengan sumber daya piezoelektrik mandiri ini terdiri dari tiga bagian, yaitu perancangan pemanen energi, penyaluran energi, dan pengendalian otomatis. Perancangan pemanen energi berupa konstruksi *piezoelectric generator* yang terdiri dari katup kantilever pegas

dan keping piezoelektrik. Pada perancangan penyaluran energi meliputi pembuatan rangkaian komponen yang terdiri dari rangkaian penyearah dioda *rectifier*, *boost converter*, modul *charging* dan integrasinya dengan baterai Li-Ion. Pada pengendalian otomatis meliputi pembuatan rangkaian komponen yang terdiri dari mikrokontroler arduino promini terintegrasi *laser ranging sensor VL53L0X ToF* dengan aktuator *micro servo SG90* untuk menggerakkan *ball valve*. Serta pemrograman sistem pengendalian katup kontrol otomatis menggunakan perangkat lunak arduino IDE. Diagram blok alat diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram blok alat



Gambar 3.3. Desain konstruksi alat keseluruhan

3.2.1. Perancangan pemanen energi

Konstruksi pemanen energi dirancang agar dapat terpasang dengan baik

dan presisi. Konstruksi yang presisi dapat memaksimalkan proses getaran pada katup kantilever pegas piezoelektrik dari tekanan fluida dalam pipa distribusi ke keping piezoelektrik. Material yang dipilih dalam konstruksi ini adalah pegas aluminium kecil, dan lem silikon untuk peredam pada piezoelektrik. Pada konstruksi pemanen energi ini terdiri dari beberapa bagian, diantaranya:

a. *Piezoelectric generator*, berupa katup kantilever pegas berfungsi sebagai media penyalur getaran dari tekanan fluida dalam pipa distribusi ke keping piezoelektrik. Rancangan dibuat agar sesuai dengan geometri katup kontrol otomatis yang telah dirancang berbentuk keran dan dengan pegas untuk memaksimalkan frekuensi

getaran saat dikenakan fluida bertekanan.

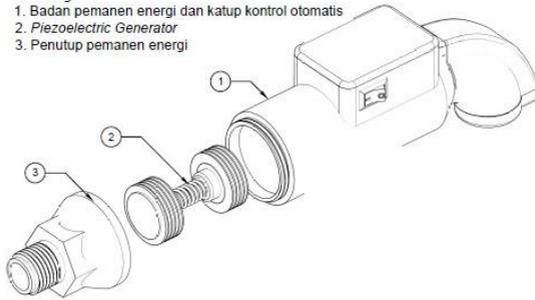
b. Keping piezoelektrik, berfungsi sebagai perangkat konversi energi getaran menjadi energi listrik. Bahan ini diletakkan di kedua sisi katup kantilever yaitu saluran masuk katup kontrol otomatis dan saluran tengah katup kontrol otomatis dengan pengkabelan dihubungkan secara seri.

c. Komponen pendukung terdiri dari lem silikon untuk peredam, cat aerosol resin untuk menguatkan permukaan bahan piezoelektik agar tidak mudah rusak dari tekanan fluida terus menerus serta kondom karet yang menyelubungi seluruh konstruksi *piezoelectric generator* agar fluida tidak masuk.

Adapun gambar perakitan bagian dari konstruksi pemanen energi diperlihatkan pada Gambar 3.4.

Keterangan:

1. Badan pemanen energi dan katup kontrol otomatis
2. *Piezoelectric Generator*
3. Penutup pemanen energi



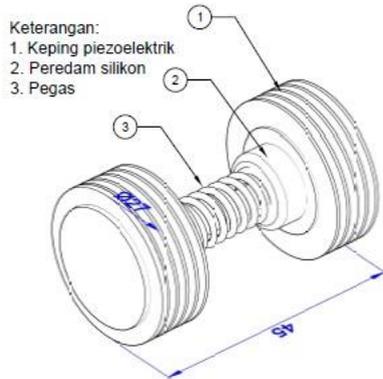
Gambar 3.4. Desain konstruksi pemanen energi





Gambar 3.5. Konstruksi pemanen energi

Rancangan *piezoelectric generator* berupa katup kantilver pegas berbentuk tabung, dan disesuaikan dengan diameter keping piezoelektrik. Keping piezoelektrik yang digunakan memiliki ukuran 20mm x 20mm sebanyak 10 buah. Oleh karena itu, panjang dan diameter dari *piezoelectric generator* berupa katup kantilever pegas didesain dengan ukuran kurang lebih 40mm dan 20mm.



Gambar 3.6. Desain *Piezoelectric Generator*

Untuk dapat menjaga banyaknya getaran keping piezoelektrik agar frekuensinya selalu tinggi dan sering maka dirancanglah sebuah pegas. Rancangan pegas ini menggunakan pegas aluminium yang memiliki panjang 30mm dan diameter 8mm. Pada sisi yang bersentuhan dengan keping piezoelektrik diberikan lem silikon untuk celah antara keping piezoelektrik dan diberi kondom karet.

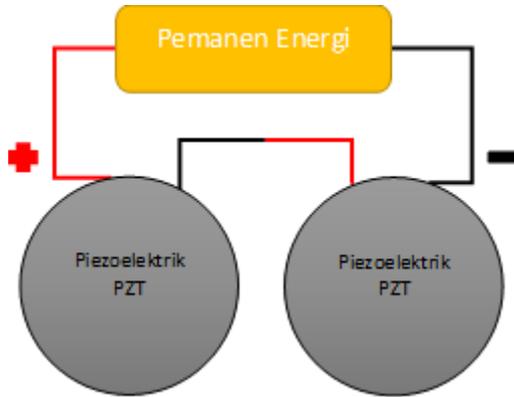
Proses pembuatan dilakukan menggunakan alat terdiri dari gunting, hot gun, hot blower, untuk memotong plat, dan membentuk geometri sesuai rancangan. Katup kantilever dan pegas yang telah dibuat kemudian dirakit menjadi satu sesuai dengan rancangan. Pada setiap permukaan keping piezoelektrik diberikan cat aerosol resin untuk menguatkan permukaan keping piezoelektrik saat ada tekanan. Hasil perakitan ditunjukkan pada Gambar 3.7.





Gambar 3.7. *Piezoelectric Generator*

Lima keping piezoelektrik diletakkan masing-masing dikedua sisi tabung katup kantilever dengan konfigurasi paralel secara mekanik dan seri secara elektrik. *Wiring connection* diantara keping piezoelektrik ditunjukkan pada Gambar 3.8.

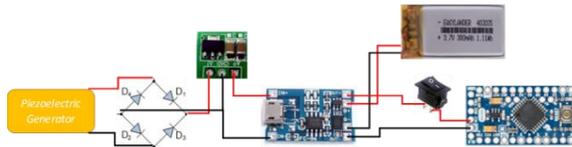


Gambar 3.8. *Wiring connection* keping piezoelektrik

3.3.2. Perancangan penyaluran energi

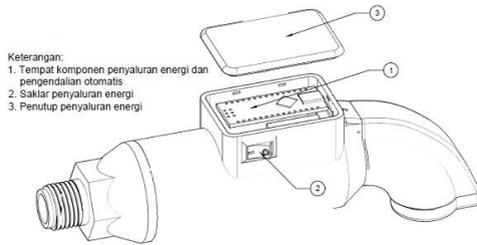
Rangkaian komponen penyaluran energi ditempatkan menjadi satu dengan rangkaian pengendalian otomatis yang berada diatas penampang katup kontrol otomatis yang juga dirancang bangun penulis. Ukuran disesuaikan dengan komponen-komponen yang akan diletakkan didalamnya. Adapun pada rangkaian

komponen penyaluran energi ini berisikan rangkaian penyearah dioda *rectifier*, *boost converter*, modul *charging*, serta baterai Li-Ion. Dirangkai juga langsung kebebannya yaitu mikrokontroller didalam kotak ruang elektronik pada penampang katup kontrol otomatis. Rangkaian diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Wiring connection

komponen penyaluran energi Rangkaian komponen penyaluran energi ini berperan sebagai pengaturan daya yang dapat menyimpan energi listrik dan menyalurkannya ke beban langsung yaitu mikrokontroller arduino.



Gambar 3.10. Desain konstruksi tempat komponen penyaluran energi dan pengendalian otomatis

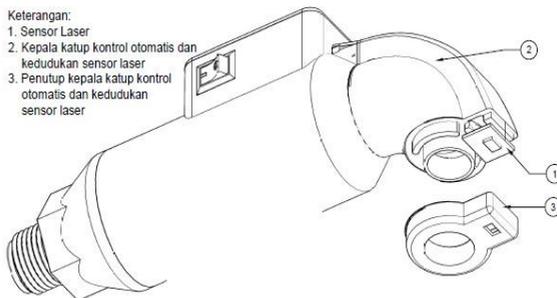


Gambar 3.11. Kontruksi tempat komponen penyaluran energi dan pengendalian otomatis

3.3.3. Perancangan pengendalian otomatis

3.3.3.1. Perancangan *laser ranging sensor*

Laser ranging sensor ditempatkan pada ujung saluran fluida keluar dari katup kontrol otomatis. Diintegrasikan pada mikrokontroller arduino promini. Pembacaan jarak yang didapat oleh sensor jarak laser akan diolah untuk dijadikan parameter pergerakan *micro servo* yang terintegrasi pada *ball valve*.



Gambar 3.12. Desain kedudukan *laser ranging sensor*

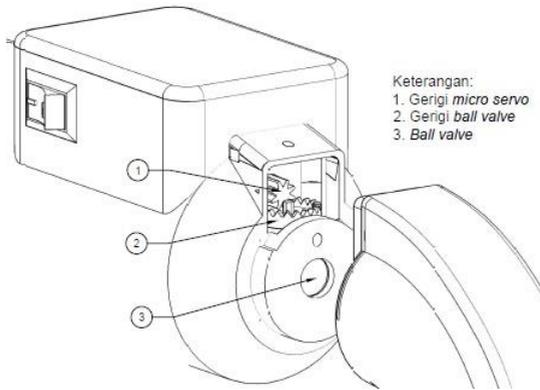


Gambar 3.13. Kedudukan *laser ranging sensor*

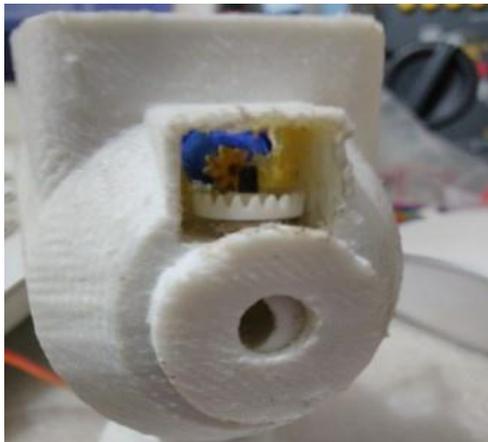
3.3.3.2. Perancangan mekanisme katup kontrol

Rancangan mekanisme katup kontrol terdiri dari dua komponen yaitu *micro servo SG90* yang dipasang didalam ruang elektronik bagian atas penampang katup kontrol otomatis. Gerigi *micro servo* terhubung pada gerigi *ball valve*, agar dapat terbuka

dan tertutup sesuai parameter kondisi yang terbaca dari *laser ranging sensor*.

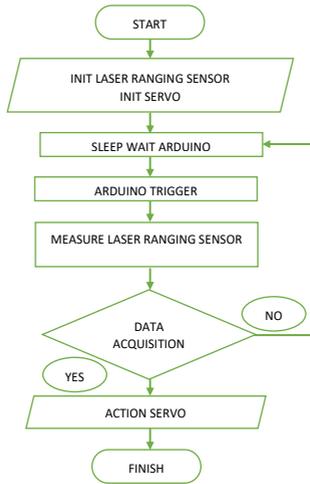


Gambar 3.14. Desain mekanisme katup kontrol



Gambar 3.15. Mekanisme katup kontrol

3.3.3.3. Pemrograman sistem pengendalian otomatis



Gambar 3.16. Diagram alir pemrograman

Pada tahap pemrograman terlebih dahulu adalah membuat algoritma pemrograman dahulu untuk menentukan alur pemrograman.

Dimulai dengan masukan *library laser ranging sensor* dan *servo*. Setelah dimasukkan akan dikenalkan dan diterapkan pada program dengan bahasa pemrograman INIT. Kemudian Arduino akan diprogram untuk tidur dan menunggu. Apabila ada pemicu dengan pendeteksian sensor maka Arduino akan bangun. Dan mulai proses pengukuran jarak benda menggunakan *laser ranging sensor*. Lalu akan diteruskan kepada mikrokontroller Arduino kembali untuk diolah sebagai tindakan aktuator berupa servo untuk berapa besar sudut bukaan *ball valve* dari parameter hasil pengukuran jarak benda dengan *laser ranging sensor*.

```

/*Pin connection
VL53L0X Pin Arduino ProMini Pin
VIN      VCC
GND      GND
VDDA     A4
SCL      A5
GPIO0    leave it unconnected
XSHVT    D12 (digital 12 or pin 12)

Servo Pin Arduino ProMini Pin
VIN      VCC
GND      GND
DATA     D9 (digital 9 or pin 9)
*/

#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>
#include <Servo.h>

VL53L0X sensor;
Servo myservo;

void setup()
{
  pinMode(12, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(12,HIGH);
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  myservo.attach(9);
  sensor.init();
  sensor.setTimeout(500);

  // Start continuous back-to-back mode (take reading as
  // fast as possible). To use continuous timed mode
  // instead, provide a desired inter-measurement period in
  // ms (e.g. sensor.startContinuous(100)).
  sensor.startContinuous();
}

void loop()
{
  int distance =sensor.readRangeContinuousMillimeters();
  //int distance =sensor.startContinuous(100);

  //distance = distance;
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(distance);
}

```

Gambar 3.17. Program sistem

pengendalian katup kontrol otomatis

Software Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan dalam memprogram sistem

pengendalian katup kontrol otomatis. Karena dengan bahasa pemrograman yang mudah dan cepat dimengerti oleh manusia, pemrograman tidak memerlukan waktu lama untuk mempelajari dan membuat program.

Servo diprogram untuk lima kondisi. Kondisi pertama adalah servo akan terbuka 90 derajat saat sensor membaca jarak benda kurang dari 1000mm. Kondisi kedua adalah servo akan terbuka 70 derajat saat sensor membaca jarak benda kurang dari 750mm. Kondisi ketiga adalah servo akan terbuka 50 derajat saat sensor membaca jarak benda kurang dari 500mm. Kondisi keempat adalah servo akan terbuka 30 derajat saat sensor membaca jarak benda kurang

dari 250mm. Kondisi kelima untuk sistem keselamatan yaitu jika sensor membaca jarak benda lebih dari 1000mm maka disesuaikan sama dengan 0mm. Jadi, servo tidak akan membuka katup atau 0 derajat.

3.3. Pemasangan alat

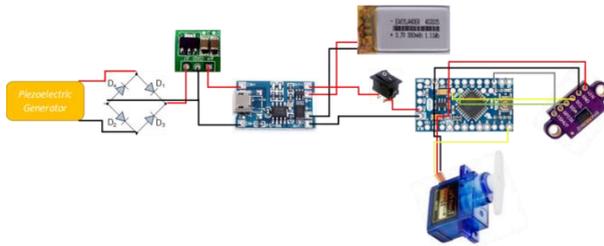
Pemasangan katup kontrol otomatis dengan sistem energi mandiri, yakni pada pipa distribusi fluida sebagai contoh distribusi air pada lingkungan. Umumnya disebut dengan keran. Posisi pemasangan unit ini dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Letak pemasangan katup kontrol otomatis sumber daya piezoelektrik mandiri.

Pada satu kesatuan alat yaitu katup kontrol otomatis sistem energi mandiri piezoelektrik, yang sebelumnya sudah dijelaskan terdapat tiga bagian yang saling mendukung. Ketiga bagian dihubungkan melalui kabel dari bagian saluran masuk fluida katup kontrol yang berada dibelakang hingga ke bagian saluran keluar fluida katup kontrol yang berada didepan. Pengkabelan (*wiring*)

ketiga bagian diperlihatkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19. *Wiring* bagian pemanen energi, penyalur energi, dan pengendalian otomatis

3.4. Pengujian alat

Pengujian alat dilakukan pada masing-masing bagian yang terdiri dari pemanen energi, penyalur energi, dan pengendalian otomatis. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan ketiga bagian dapat bekerja dengan baik sebelum terintegrasi menjadi sistem pemanen energi.

Berikut prosedur pengujian dan pengambilan data dari masing-masing bagian.

3.5.1. Pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier*

Pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier* atau dioda bridge bertujuan untuk mengetahui perbedaan besar tegangan keluar DC dari sumber AC piezoelektrik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu keping piezoelektrik sebagai sumber tegangan masukan, rangkaian penyearah dioda *rectifier*. Tegangan masukan diberikan dengan tekanan berulang pada keping piezoelektrik. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan menggunakan multimeter. Adapun prosedur dan skema

pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier* adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan pengkabelan piezoelektrik, rangkaian penyearah dioda

rectifier dan multimeter.

2. Mengatur multimeter pertama pada mode pembacaan tegangan masukan AC

piezoelektrik.

3. Mengatur multimeter kedua pada mode pembacaan tegangan keluaran DC

rangkaian penyearah dioda *rectifier*.

4. Mencatat nilai tegangan masukan AC dan tegangan keluaran DC yang terukur

pada multimeter.

5. Mengulangi tekanan sampai batas 10 kali pada piezoelektrik

6. Mencatat kembali nilai tegangan keluaran setiap peningkatan nilai tegangan masukan.

Hasil pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier* dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Hasil pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier*

Tegangan masukan (VAC)	Tegangan keluaran (VDC)
0.47	1.88
2.84	3.10
2.47	2.89
3.16	3.70
3.50	3.94
0.78	1.95
2.32	3.50
3.04	3.80
0.86	1.76

1.97	2.70
------	------

3.5.2. Pengujian *boost converter*

Pengujian *boost converter* dilakukan untuk mengetahui besar level tegangan masukan yang berhasil dinaikkan. Pada pengujian ini digunakan catu daya sebagai sumber tegangan masukan. Tegangan masukan diberikan dengan level tegangan berkurang bertahap dimulai dari 2.9V sampai 0.8V. Pengukuran tegangan keluaran dilakukan menggunakan multimeter. Adapun prosedur dan skema pengujian *boost converter* adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan pengkabelan catu daya, *boost converter* dan multimeter.

2. Mengatur multimeter pada mode pembacaan tegangan DC.
3. Menurunkan posisi knop pada posisi nol, menghubungkan catu daya ke sumber tegangan AC 220V dan mengatur tegangan pada nilai 2.9V.
4. Mencatat nilai tegangan keluaran yang terukur pada multimeter.
5. Menurunkan nilai tegangan secara bertahap dengan pengurangan 0.3V hingga mencapai 0.8V.
6. Mencatat kembali nilai tegangan keluaran setiap pengurangan nilai tegangan masukan.

Hasil pengujian *boost converter* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Hasil pengujian *boost converter*

Tegangan masukan (V)	Tegangan keluaran (V)
2.9	5.15
2.6	5.12
2.3	5.10
2.0	5.08
1.7	5.06
1.4	5.04
1.1	5.04
0.8	5.03

3.5.3. Pengujian modul *charging*

Pengujian modul *charging* bertujuan untuk mengetahui pengaruh besar tegangan yang digunakan terhadap arus pengisian baterai dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan

penuh. Pengujian dilakukan dengan menggunakan catu daya sebagai sumber tegangan, modul *charging* sebagai pengisi daya baterai dan baterai Li-Ion 3.7V 300mAH sebagai media penyimpanan energi listrik. Adapun prosedur dan skema pengujian pengisian baterai sebagai berikut:

1. Menghubungkan pengkabelan catu daya, modul *charging*, dan baterai Li-Ion.
2. Menurunkan posisi knop catu daya pada posisi nol, menghubungkan catu daya ke sumber tegangan AC 220V dan mengatur tegangan keluaran pada nilai 3.7V serta menyalakan stopwatch.

3. Mematikan stopwatch saat status LED biru pada modul menyala dan mencatat waktunya.

Hasil pengujian modul *charging* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Hasil pengujian modul
charging

Tegangan catu daya (V)	Arus pengisian (mA)	Waktu (menit)
3.7	40	223
3.8	50	217
3.9	70	134
4.0	110	102
4.1	140	60
4.2	190	50

3.5.4. Pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tegangan *piezoelectric generator* yang berhasil dibangkitkan. Pada pengujian ini *piezoelectric generator* dipasang didalam konstruksi pemanen energi dan fluida dialirkan dari penampung fluida umumnya toren atau tandon air. Pengukuran tegangan *piezoelectric generator* dilakukan menggunakan multimeter. Adapun skema dan prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang rangkaian pemanen energi *piezoelectric generator* dan dioda

bridge pada konstruksi pemanen energi.

2. Memasang pressure transmitter pada posisi segaris dengan *piezoelectric generator* dan menghubungkannya dengan *data logger* untuk mengukur tekanan fluida yang terdapat pada pipa distribusi.
3. Menghubungkan keluaran *piezoelectric generator* melalui dioda bridge ke *data logger* untuk mengukur tegangan yang dihasilkan.
4. Mengalirkan fluida pada pipa distribusi.
5. Mencatat nilai perbandingan antara perbedaan tekanan fluida dan tegangan *piezoelectric generator* yang dihasilkan.

Hasil pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator* dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Hasil pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator*

Tekanan fluida (PSi)	Tegangan <i>piezoelectric generator</i> (V)
4.0	0.93
4.0	0.90
4.3	1.05
4.1	0.98
4.0	0.90
3.9	0.83
4.4	1.11
4.0	0.99
4.4	1.20
4.1	0.99

3.5.5. Pengujian daya *piezoelectric generator*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya maksimum yang dihasilkan oleh *piezoelectric generator*. Pengujian dilakukan dengan kondisi fluida dialirkan dari tandon air, dan memberikan beban berupa baterai. Untuk mendapatkan daya maksimum maka baterai dihubungkan dengan keluaran *piezoelectric generator* saat tegangannya bernilai maksimum. Adapun prosedur dan skema pengujian dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang rangkaian *piezoelectric generator* dan dioda bridge pada konstruksi pemanen energi.
2. Mengatur mode pembacaan multimeter pada posisi Ampere DC.

3. Menghubungkan probe positif multimeter secara seri pada terminal positif

piezoelectric generator melalui dioda bridge.

4. Menghubungkan probe negatif multimeter secara seri pada terminal positif

baterai.

5. Menghubungkan terminal negatif baterai ke terminal negatif *piezoelectric*

generator melalui dioda bridge.

6. Mencatat nilai arus yang terbaca pada multimeter.

3.5.6. Pengujian pemanen energi

Pengujian pemanen energi dilakukan untuk mengetahui kinerja alat secara keseluruhan. Pengujian dilakukan

dengan kondisi fluida dialirkan dari tandon air. Adapun skema dan prosedur dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang pemanen energi, penyalur energi dan seluruh bagian katup kontrol otomatis pada pipa distribusi.
2. Meletakkan *data logger* pada posisi atas tidak jauh dari katup kontrol otomatis.
3. Menghubungkan keluaran *piezoelectric generator* melalui dioda bridge ke *boost converter* secara paralel pada pin tegangan *data logger*.

4. Menghubungkan keluaran positif *piezoelectric generator* melalui dioda bridge ke *boost converter* pada pin arus *data logger*.
5. Menghubungkan keluaran positif dari pin negatif *data logger* ke modul *charging*.
6. Mengalirkan fluida kurang lebih 10 menit.

3.5.7. Pengujian pengisian beban mikrokontroler arduino promini

Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan alat dalam memberikan daya pada beban. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa perangkat elektronik mikrokontroler Arduino Promini sebagai

salah komponen pengendali otomatis pada katup kontrol otomatis sumber daya piezoelektrik mandiri.

3.5.8. Pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda

Pengujian ketepatan sensor dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan katup kontrol otomatis belum terpasang pada pipa distribusi. Adapun skema dan prosedur dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang seluruh bagian katup kontrol otomatis pada konstruksi peraga.
2. Menghubungkan mikrokontroller pada perangkat lunak Arduino IDE di komputer.

3. Meletakkan mistar segaris dengan arah sensor untuk membandingkan pengukuran yang terbaca.
4. Tempatkan benda sesuai ketentuan jarak yang telah dibuat (dengan 4 titik pengukuran yang berbeda).
5. Catat hasil perbandingan pengukuran antara mistar dengan sensor.

Hasil pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8. Hasil pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda

Pengukuran jarak dengan mistar (mm)	Pengukuran jarak dengan sensor (mm)
-------------------------------------	-------------------------------------

250	272
500	512
750	757
1000	1015

3.5.9. Pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda

Pengujian ketepatan sudut bukaan katup dilakukan untuk mengetahui kinerja servo berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan katup kontrol otomatis belum terpasang pada pipa distribusi. Adapun skema dan prosedur dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang seluruh bagian katup kontrol otomatis pada konstruksi peraga

kecuali bagian kedudukan sensornya dipisah terlebih dahulu untuk

mengetahui pergerakan *ball valve*.

2. Menghubungkan mikrokontroller pada perangkat lunak Arduino IDE di komputer.
3. Meletakkan mistar segaris dengan arah sensor untuk membandingkan pengukuran yang terbaca.
4. Tempatkan benda sesuai ketentuan jarak yang telah dibuat (dengan 4 titik pengukuran yang berbeda).
5. Catat dan dokumentasikan hasil perbandingan antara bukaan katup dengan

pembacaan jarak pada sensor.

Hasil pengujian ketepatan bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Hasil pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda

Pengukuran jarak dengan mistar (mm)	Pengukuran jarak dengan sensor (mm)	Sudut bukaan katup (°)
200	210	30
450	417	50
700	722	70
950	914	90

3.5.10. Pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup

Pengujian volume keluar fluida dilakukan untuk mengetahui

perbandingan volume keluar fluida pada tiap bukaan katup yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan katup kontrol otomatis terpasang pada pipa distribusi. Adapun skema dan prosedur dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memasang seluruh bagian katup kontrol otomatis pada pipa distribusi.
2. Meletakkan mistar segaris dengan arah sensor untuk menempatkan gelas ukur pada jarak pembacaan sensor dengan benar.
3. Siapkan stopwatch untuk menghitung waktu

4. Tempatkan gelas ukur sesuai ketentuan jarak yang telah dibuat (dengan 4 titik pengukuran yang berbeda) untuk mengukur berapa volume setiap bukaan derajat katup.
5. Mengalirkan fluida kurang lebih 10 detik tiap bukaan katup yang berbeda.
6. Catat dan dokumentasikan hasil perbandingan antara bukaan katup dengan hasil pengukuran volume fluida yang didapat pada gelas ukur.

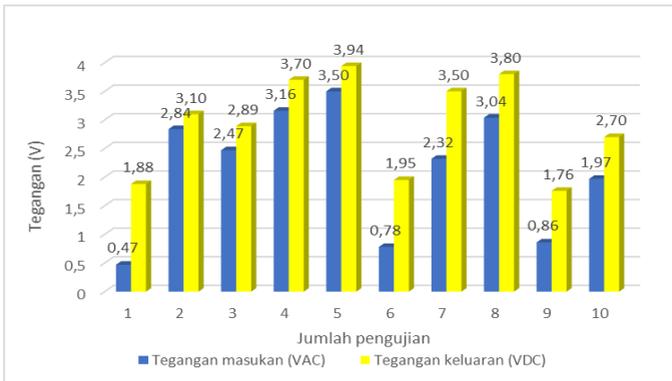
Hasil pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Hasil pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup

Pengukuran jarak dengan mistar (mm)	Sudut bukaan katup (°)	Volume keluar fluida (ml)	Waktu (detik)
0-250	30	510	10.19
251-500	50	565	10.11
501-750	70	620	10.14
751-1000	90	740	10.51

3.5. Analisis pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier*

Pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier* dilakukan dengan memberikan tekanan piezoelektrik untuk mendapatkan tegangan masukan AC. Dengan memberikan tegangan masukan AC tersebut dapat diketahui besar tegangan DC yang keluar dari rangkaian penyearah dioda *rectifier*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier*

Berdasarkan hasil pengujian diatas terlihat bahwa besarnya nilai tegangan yang keluar (VDC) memiliki selisih nilai dengan tegangan yang masuk (VAC). Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa rangkaian penyearah dioda *rectifier* mampu untuk menyearahkan tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC).



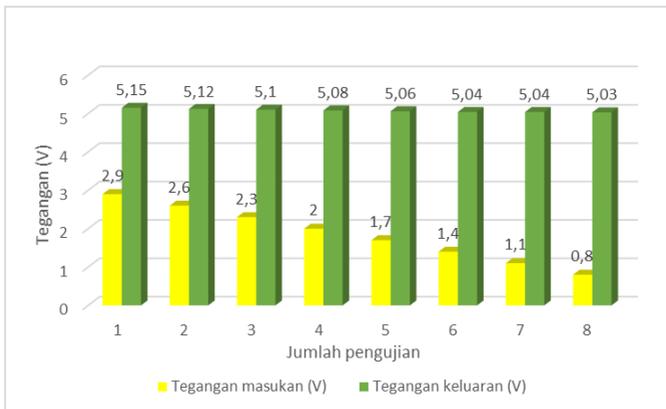
Gambar 4.2. Pengujian rangkaian penyearah dioda *rectifier*

Pada Gambar 4.2. terlihat bahwa tegangan masukan (VAC) akan mengalami kenaikan pada tegangan keluaran (VDC). Tegangan masukan yang kecil menandakan bahwa tekanan terhadap piezoelektrik kurang dan sebaliknya semakin besar tegangan masukan menandakan bahwa tekanan terhadap piezoelektrik semakin besar juga.

a. Analisis pengujian *boost converter*

Pengujian *boost converter* dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan dari 2.9V hingga 0.8V menggunakan catu daya. Pemilihan tegangan masukan ini disesuaikan dengan karakteristik *boost converter* yang digunakan, memiliki nilai tegangan masukan maksimal 2.9V dan minimal

0.8V. Dengan memberikan variasi tersebut dapat diketahui performa tegangan keluaran terhadap perubahan tegangan masukan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.3. dibawah ini.



Gambar 4.3. Grafik pengujian boost converter

Nilai tegangan masukan dalam pengujian dimulai dari nilai terbesar 2.9V hingga tegangan terkecil 0.8V. Berdasarkan hasil pengujian terlihat

bahwa *boost converter* yang dirancang mampu menaikkan tegangan masukan ke level tegangan maksimal kurang lebih 5.0V. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa *boost converter* mampu mempertahankan nilai tegangan keluaran di level 5.0V dengan nilai tegangan masukan yang bervariasi. Hal ini dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.3.



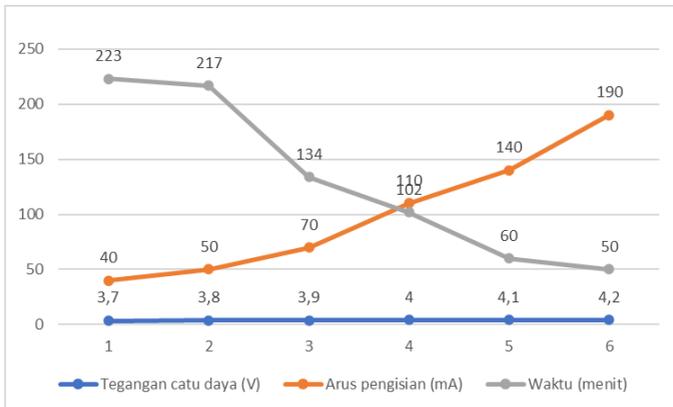
Gambar 4.4. Pengujian *boost converter*

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. menunjukkan perangkat *boost converter* yang telah dirancang mampu menaikkan tegangan masukan ke level tegangan maksimal kurang lebih 5.0V.

b. Analisis pengujian modul *charging*

Pengujian modul *charging* dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan dari 3.7V hingga 4.2V. Pemilihan tegangan masukan ini disesuaikan dengan spesifikasi baterai Li-Ion yang memiliki nilai tegangan nominal sebesar 4.2V dan tegangan operasional sebesar 3.7V. Dengan memberikan variasi tersebut dapat diketahui pengaruh besar tegangan terhadap arus pengisian dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai

sampai keadaan penuh. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.5. dibawah ini.



Gambar 4.5. Grafik pengujian modul charging

Besarnya nilai tegangan yang digunakan dalam pengisian baterai berpengaruh terhadap arus pengisian. Semakin besar tegangan pengisian maka arus pengisian juga semakin besar. Dengan semakin besarnya arus pengisian maka waktu yang dibutuhkan

untuk mengisi daya baterai sampai kondisi penuh menjadi lebih cepat.



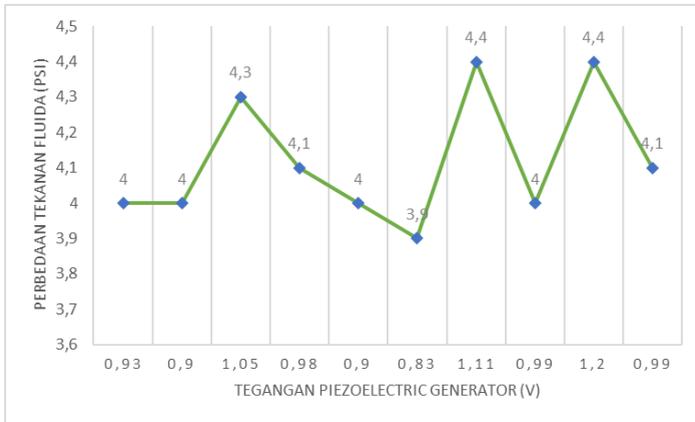
Gambar 4.6. Pengujian modul *charging*

Pada Gambar 4.5. terlihat bahwa arus pengisian yang semakin kecil menandakan bahwa kapasitas baterai akan terisi penuh dan sebaliknya semakin besar arus pengisian menandakan bahwa kapasitas baterai

masih dalam keadaan kosong atau minimum.

c. Analisis pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator*

Pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator* dilakukan dengan mengalirkan fluida dari penampung fluida dan mengukur tegangan yang dibangkitkan. Adapun hasil pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator* dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik pengujian tegangan *piezoelectric generator*

Hasil pengujian pada Gambar 4.7. menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric generator* dinamis seiring dengan perubahan tekanan fluida yang terjadi didalam pipa distribusi. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan dari pengujian ini sebesar 1.20V dengan tekanan fluida sebesar 4.4 PSI.



Gambar 4.8. Pengujian pembangkitan tegangan *piezoelectric generator*

**d. Analisis pengujian daya
*piezoelectric generator***

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa baterai yang memiliki tegangan 3.7V dan arus 300mAh. Hasil pengukuran arus yang mengalir pada beban saat tegangan *piezoelectric generator* terbesar bernilai

1.20V adalah sebesar 159mA atau 0.16A. Dengan menggunakan persamaan (7) maka daya maksimum yang dihasilkan oleh *piezoelectric generator* sebagai berikut:

$$P = V \times I$$

$$P = 1.20V \times 0.16A$$

$$P = 0.192 \text{ Watt}$$

e. Analisis pengujian pemanenan energi

Pengujian pemanenan energi dilakukan dengan terpasangnya seluruh komponen pemanen energi dan penyalur energi berupa *boost converter*, modul *charging* dan baterai Li-Ion serta mengalirkan fluida dari tandon air selama kurang lebih 10 menit. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian pemanenan energi

Tegangan rata-rata (V)	Arus pengisian rata-rata (mA)	Daya (Watt)
4.53	127	0.575

Berdasarkan hasil pengujian tersebut diketahui bahwa tegangan rata-rata selama fluida dialirkan bernilai 4.53V dengan rata-rata arus sebesar 127mA. Daya yang dihasilkan selama pengujian berlangsung berkisar 0.575 Watt.

Dari hasil pengujian dapat diperhitungkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga kondisi penuh. Dengan menggunakan persamaan (6) maka waktu yang dibutuhkan baterai

mencapai kondisi penuh ketika fluida dialirkan yaitu:

$$Q = I \cdot t$$

$$t = Q / I$$

$$t = 300 \text{ mAh} / 127 \text{ mA}$$

$$t = 2.36 \text{ jam (hour)}$$

Lama waktu pengisian ditentukan oleh besarnya arus pengisian, semakin besar arus yang dihasilkan oleh *piezoelectric generator* maka pengisian baterai akan semakin cepat.

f. **Analisis pengujian pengisian beban mikrokontroler arduino promini**

Pengujian ini dilakukan untuk melihat kemampuan alat saat memberikan daya pada beban. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa mikrokontroler arduino promini. Hasil

pengujian pengisian beban disajikan dalam Tabel 4.2.

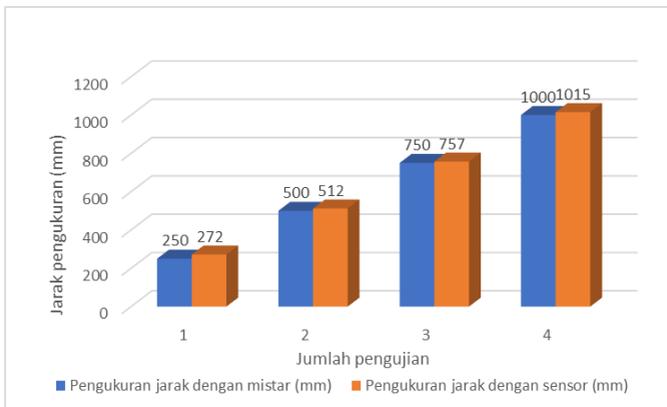
Pengisian daya pada perangkat elektronik mikrokontroler arduino promini dengan konsumsi daya per pin I/O 40mA mampu menghidupkan perangkat elektronik selama kurang lebih 120 menit. Besarnya arus pengisian yang diberikan mencapai arus maksimum dari perangkat, yakni sebesar kurang lebih 37mA.



Gambar 4.9. Penghidupan beban mikrokontroller arduino promini

g. Analisis pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda

Pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda dilakukan dengan katup kontrol otomatis belum terpasang pada pipa distribusi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.10. dibawah ini.



Gambar 4.10. Grafik pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda

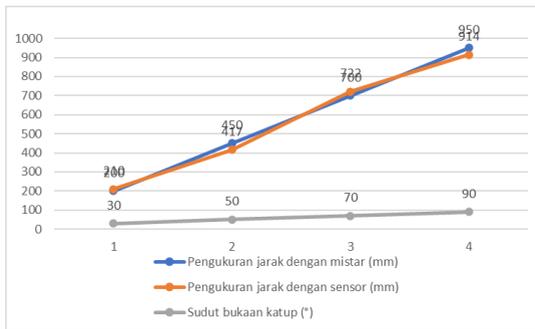
Berdasarkan hasil pengujian dengan 4 titik pengukuran yang telah ditentukan diatas terlihat bahwa besarnya nilai pengukuran yang didapat oleh sensor memiliki selisih nilai dengan nilai pengukuran pada mistar, akan tetapi masih dalam batas toleransi.



Gambar 4.11. Pengujian ketepatan sensor membaca jarak benda

h. Analisis pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda

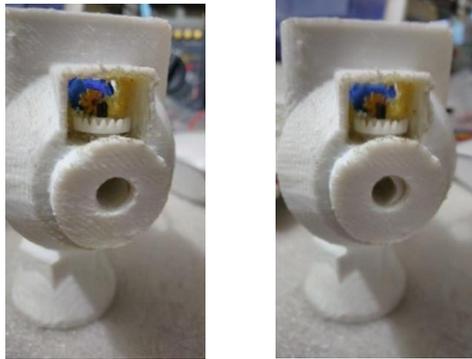
Pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda dilakukan dengan katup kontrol otomatis belum terpasang pada pipa distribusi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.12. dibawah ini.

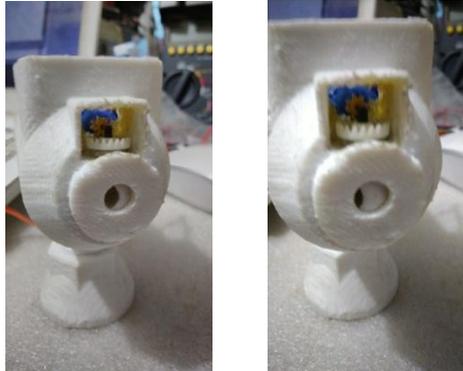


Gambar 4.12. Grafik pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda

Berdasarkan hasil pengujian diatas terlihat bahwa besarnya sudut bukaan katup yang didapat oleh servo sesuai dengan ketentuan nilai pengukuran pada sensor dan mistar yang telah

diprogram yaitu jika sensor membaca jarak benda kurang dari 250mm maka sudut bukaan katup sebesar 30 derajat dan seterusnya di keempat titik dan tertutup semua jika sensor tidak membaca keberadaan suatu benda dan melebihi jarak yang telah ditentukan pada pemrograman, dapat dilihat pada Gambar 4.12. diatas.

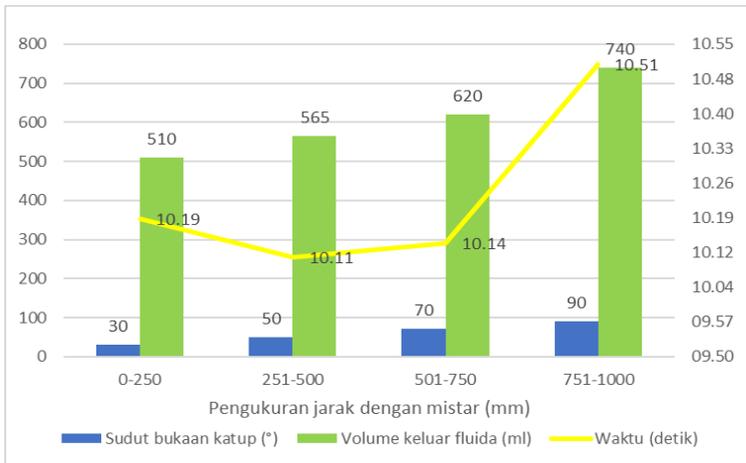




Gambar 4.13. Pengujian ketepatan sudut bukaan katup terhadap pembacaan jarak benda

i. Analisis pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup

Pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup dilakukan dengan katup kontrol otomatis terpasang pada pipa distribusi.



Gambar 4.14. Grafik pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup

Berdasarkan hasil pengujian diatas terlihat bahwa besarnya sudut bukaan katup yang didapat oleh servo sesuai dengan ketentuan nilai pengukuran pada sensor yang telah diprogram masing-masing selama kurang lebih 10 detik, dapat dilihat pada Gambar 4.14. diatas.



Gambar 4.15. Pengujian perbandingan volume keluar fluida terhadap sudut bukaan katup

3.6. Pembahasan

Penelitian ini berhasil merancang dan menerapkan teknologi pemanen energi yang dapat memanen energi tekanan fluida didalam pipa distribusi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan

lumayan besar, mampu digunakan untuk mengisi daya perangkat elektronik yaitu mikrokontroler arduino promini.

Gaya pegas pada konstruksi kantilever *piezoelectric generator* cukup optimal sehingga tegangan *piezoelectric generator* yang berhasil dibangkitkan dengan kondisi tanpa beban dapat mencapai nilai 1.2V maksimum.

Proses pengisian baterai oleh modul *charging* secara maksimal akan berlangsung ketika tegangan yang dihasilkan mencapai 4.2V. Tegangan tersebut dapat dicapai oleh alat dengan mengalirkan fluida selama kurang lebih 10 menit. Besarnya tegangan yang berhasil dibangkitkan saat fluida mengalir rata-rata sebesar 4.53V dan arus pengisian yang didapatkan rata-rata sebesar 127mA.

Daya listrik yang berhasil dibangkitkan saat kondisi fluida dialirkan adalah 0.575 Watt.

Pada sistem pengendalian katup kontrol otomatis, pemrograman berjalan dengan lancar sesuai dengan ketentuan yang telah dibuat. Walaupun sensor tidak terlalu akurat, akan tetapi masih dalam batas toleransi yang wajar. Dan tidak mempengaruhi pengendalian servo sebagai aktuator dari katup kontrol berjenis *ball valve*.

Berdasarkan hasil pengujian alat secara keseluruhan menunjukkan bahwa alat pemanen energi yang dirancang untuk katup kontrol otomatis mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk mengisi perangkat elektronik berupa arduino promini sebagai mikrokontroller pada sistem

pengendalian otomatis aliran fluida. Selain itu, bagian dari sistem pengendalian otomatis aliran fluida mampu lebih hemat untuk pemakaian fluida dalam hal ini yaitu penggunaan air bersih seperti wudhu khususnya dan berbagai macam kebutuhan lain yang memerlukan penggunaan air bersih melalui katup kontrol dan sejenisnya. Hasil penelitian ini cukup berhasil memperbaiki kekurangan yang terdapat pada penelitian sebelumnya [1]-[7] dan [10]-[13] sekaligus memberikan beberapa kemajuan.

3.7 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan listrik maksimum yang berhasil dibangkitkan dengan kondisi fluida dialirkan didalam

pipa distribusi tanpa beban adalah sebesar 1.2V dan daya listrik yang dihasilkan pada pemanen energi maksimum sebesar 0.192 Watt. Pemanen energi menghasilkan tegangan keluaran rata-rata sebesar 4.53V dan arus pengisian rata-rata sebesar 127mA. Dapat dikatakan bisa digunakan untuk menghidupkan daya perangkat elektronik mikrokontroler arduino promini. Daya listrik maksimum saat fluida dialirkan selama kurang lebih 10 menit sebesar 0.575 Watt.

2. Sensor laser berjalan dengan baik dengan toleransi yang masih dalam batas wajar. Pengendalian katup kontrol *ball valve* sesuai

dengan ketentuan yang telah dibuat dalam pemrograman terhadap nilai pengukuran sensor. Sistem pengendalian otomatis aliran fluida mampu lebih hemat untuk pemakaian fluida dalam hal ini yaitu penggunaan air bersih seperti wudhu khususnya.

3. Sistem panen energi mandiri piezoelektrik tekanan fluida, sistem penyaluran energi mandiri, serta sistem katup kontrol otomatis pengendalian volume keluar fluida terukur. Dapat menjadi satu kesatuan alat teknologi terbaru dari segi konstruksi mekanik, elektronik dan pemrograman yang saling terhubung dan bekerja bersama.

Adapun saran yang harus diberikan terhadap kelanjutan penelitian yang dikerjakan penulis sebagai berikut:

- 1.** Revisi desain konstruksi pemanen energi kembali agar didapatkan hasil yang lebih optimal dan bagus.
- 2.** Penerapan sistem pemantauan pemakaian fluida berdasar IoT khususnya air bersih dalam kehidupan umum, serta fluida produksi pada bidang industri seperti minyak bumi dll.
- 3.** Fokus dalam mengembangkan sistem energi terbarukan yang lebih baik dari tekanan fluida menggunakan *Piezoelectric Generator*

REFERENSI

- [1] K. Hantrakul, P. Pramokchon, P. Khoenkaw, N. Tantitharanukul, and K. Osathanunkul, "Automatic faucet with changeable flow based on MQTT protocol," *20th Int. Comput. Sci. Eng. Conf. Smart Ubiquitos Comput. Knowledge, ICSEC 2016*, pp. 1–5, 2017.
- [2] T. Mantoro and W. Istiono, "Saving water with water level detection in a smart home bathtub using ultrasonic sensor and Fuzzy logic," *Proc. 2nd Int. Conf. Informatics Comput. ICIC 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2018.
- [3] J. A. Prakosa and L. P. Kozlova, "Design and simulation of automatic control valve for gas flow meter calibrator of bell

prover," *Proc. 2018 IEEE Conf. Russ. Young Res. Electr. Electron. Eng. ElConRus 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 966–969, 2018.

- [4] E. C. Prima, S. S. Munifaha, R. Salam, M. H. Aziz, and A. T. Suryani, "Automatic Water Tank Filling System Controlled Using ArduinoTM Based Sensor for Home Application," *Procedia Eng.*, vol. 170, pp. 373–377, 2017.
- [5] S. Ullah, G. Saman, and F. Khan, "Hand gesture recognition for automatic tap system," *2015 Intell. Syst. Comput. Vision, ISCV 2015*, pp. 2–6, 2015.
- [6] M. Automation and C. Engineering, "Design of Automatic Controlling System for Tap - Water Using Floatless Level Sensor fl," pp. 18–21,

2014.

- [7] U. Berbasis and A. Uno, "November 2019 P ISSN 2614-5979 Sigma Teknika , Vol . 2 , No . 2 : 192-201," vol. 2, no. 2, pp. 192–201, 2019.
- [8] O. Access, "We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % Thermoelectric Energy Harvesting : Basic Principles and Applications."
- [9] L. B. Kong, *Waste Energy Harvesting* .
- [10] D. Almanda, E. Dermawan, A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and A. N. Fajar, "Analisis Desain Optimum Model Piezoelektrik PvdF Untuk Sumber Pembangkit Listrik Air Hujan Berskala Mini," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.* 2015, no. November

2015, pp. 1–5, 2015.

- [11] D. I. N. Elfi Yulia, Eka Permana Putra, Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D, “Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor,” *J.Oto.Ktrl.Inst Vol 8 (1), 2016 ISSN 2085-2517*, vol. No.10, no. 1, pp. 34–38, 2016.
- [12] J. Yadav, P. D. Scholar, and D. M. T. Scholar, “Design of an open channel fluid flow system for piezoelectric energy harvesting,” *Int. J. Latest Trends Eng. Technol.*, vol. 8, no. 41, pp. 244–249, 2017.
- [13] E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti, and A. Gatto, “Energy harvesting applied to smart shoes,” *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 8,

pp. 412–421, 2018.

- [14] 2017 Abdullah, M.” Gelombang ”, Fisika Dasar II, Institut Teknologi Bandung, *No Title*. .
- [15] J. T. Sipil, P. Sarjana, and T. Unsoed, “Mekanika fluida,” 2005.
- [16] 2016 Abdullah, M. “ Usaha dan Energi”. Fisika Dasar I, Institut Teknologi Bandung, *No Title*. .
- [17] E. Britto, “Energy Harvesting using Piezoelectricity,” no. Icesa, pp. 517–521, 2015.
- [18] E. Blokhina and A. El, *Nonlinearity in Energy Harvesting Systems*. .
- [19] I. Patel, “Ceramic Based Intelligent Piezoelectric Energy Harvesting Device,” no. 2, 2008.
- [20] F. U. Khan, “Electromagnetic energy harvester for harvesting acoustic energy,” vol. 41, no. 4, pp.

397–405, 2016.

- [21] “TP4056 / TC4056A Lithium Battery Charger and Protection Module.” [Online]. Available: <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm>. [Accessed: 28-Jun-2020].
- [22] S. N. Kane, A. Mishra, and A. K. Dutta, “Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016),” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 755, no. 1, 2016.
- [23] “Penjelasan tentang sistem DC Buck Converter - Nyebarilmu.” [Online]. Available: <https://www.nyebarilmu.com/penjelasan-tentang-sistem-dc-buck-converter/>. [Accessed: 06-Aug-2020].

- [24] M. E. Series and P. F. M. S. Dc, "DC / DC Step up Converter ME2108 Series General Description : Features : Selection Guide : Applications : Pin Configuration : Pin Assignment : ," pp. 1–12.
- [25] "Arduino - ArduinoProMini." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoProMini>. [Accessed: 14-Feb-2020].
- [26] STMicroelectronics, "World smallest Time-of-Flight (ToF) laser ranging sensor VL53L0X," no. May, pp. 1–4, 2016.
- [27] TowerPro, "TowerPro SG90 Micro Servo," *Cytron Technol.*, pp. 3–5.
- [28] "Perbedaan Ball Globe dan Gate Valve | Indonesian Piping Knowledge." [Online]. Available:

<http://www.idpipe.com/2017/01/perbedaan-ball-globe-gate-valve.html>. [Accessed: 06-Aug-2020].

4. Pemanfaatan vibrasi

Kebisingan menjadi energy listrik

4.1 Pendahuluan

Pertambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi serta perkembangan teknologi yang semakin meningkat setiap tahunnya mengakibatkan semakin bertambahnya kebutuhan akan patokan listrik. Pemenuhan energi listrik yang ada saat ini masih menitik beratkan pada penggunaan batu bara. Krisis energi telah menjadi krisis dunia. Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan dan merupakan sesuatu yang kekal. Semakin bertambahnya jumlah manusia, semakin besar pula jumlah energi yang

dibutuhkan. Sementara sumber energi fosil seperti, minyak bumi, gas alam, dan batu bara, merupakan sumber energi yang tidak terbarukan. Sebagai alternatif dari keterbatasan energi fosil, manusia mencoba memanfaatkan dengan menciptakan beberapa alat pemanen energi (*energy harvesting*).

Beberapa tahun belakangan ini, minat para peneliti untuk melakukan penelitian dan pengembangan kemampuan pemanenan energi (*energy harvesting*) dari lingkungan semakin meningkat [12]. Salah satu bentuk energi yang dapat dipanen dari lingkungan adalah energi akustik (bunyi) yang biasanya berupa kebisingan. Pemanenan energi akustik dapat digambarkan sebagai proses mengkonversi gelombang – gelombang

bunyi yang kuat dan sinambung dari lingkungan menjadi energi listrik dengan menggunakan transduser akustik [14]. Energi yang diperoleh selanjutnya disimpan dalam bentuk baterai atau kapasitor untuk nantinya digunakan saat diperlukan.

Kota – kota besar biasanya terdapat berbagai macam energi bunyi yang terbuang dengan taraf kekuatan yang cukup besar. Sebagai contoh, kebisingan di jalan raya saat ramai memiliki tingkat tekanan bunyi (*sound level pressure, SPL*) sekitar 80 dB – 90 dB, alat bor genggam menghasilkan bunyi dengan SPL 98 dB, dan mesin jet pesawat menghasilkan bunyi dengan SPL sekitar 140 dB pada jarak 100 m [12]. Contoh lainnya, kebisingan di lokasi beberapa jenis pabrik industri memiliki

SPL sekitar 100 dB hingga 136 dB [6]. Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk memanfaatkan energi yang terbuang dan bersifat mengganggu ini sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Meskipun hingga saat ini energi yang diperoleh dalam hal ini relatif kecil, yaitu maksimum hanya puluhan miliwatt [9, 12].

Sebagian besar transduser akustik (yaitu komponen yang mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik) yang digunakan dalam alat pemanen energi akustik (*acoustic energy harvester*) adalah material piezoelektrik, sedangkan yang lainnya menggunakan magnet yang dipasang pada sebuah membrane yang akan bergetar di sekitar sebuah koil ketika dikenai oleh gelombang bunyi [6,12]. Material

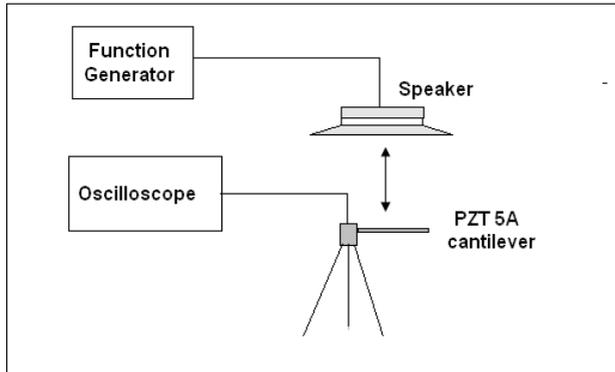
piezoelektrik banyak digunakan dalam hal ini karena harganya murah, dapat menghasilkan energi listrik dengan rapat energi yang besar, dan ukurannya kecil sehingga mudah untuk diintegrasikan dengan sistem yang akan diberi daya listrik [9]. Di sisi lain, *loudspeaker* juga dapat mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik. Namun sejauh ini *loudspeaker* baru digunakan dalam alat – alat pembangkit listrik termooakustik, yaitu alat yang menghasilkan energi listrik dari energi termal melalui efek termooakustik [16].

Transduser akustik dalam alat pemanen energi akustik biasanya dilengkapi dengan resonator akustik yang berfungsi sebagai pengumpul energi akustik dan berguna untuk meningkatkan amplitude tekanan

gelombang bunyi pada frekuensi tertentu yang akan diterima oleh transduser akustik tersebut. Bentuk resonator yang digunakan dapat berupa resonator lurus seperempat Panjang gelombang, ataupun resonator Helmholtz [15].

Penelitian sebelumnya yang pertama yaitu jurnal penelitian yang berjudul "*Acoustic Energy Harvesting Using Piezoelectric Generator for Low Frequency Sound Waves Energy Conversion*" yang dipublikasikan di *International Journal of Engineering and Technology* pada tahun 2014, ditulis oleh Haris Fazilah Hassan, Syed Idris Syed Hassan, Rosemizi Abd Rahim, mahasiswa Universiti Kuala Lumpur - Malaysia. Jurnal ini membahas sistem pemanen energi

akustik menggunakan generator piezoelektrik [3].

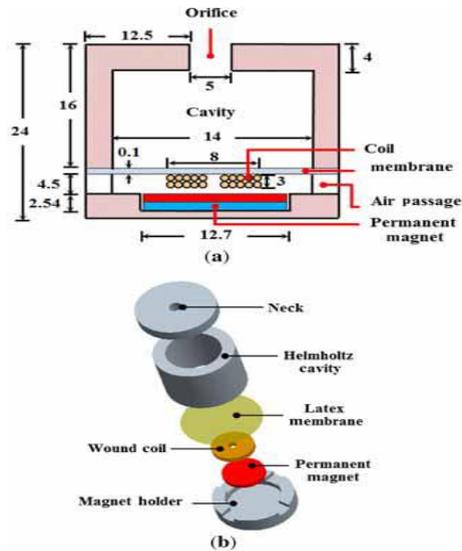


Gambar 1.1 Skema pengaturan eksperimen [3].

Dalam eksperimen generator piezoelektrik tipe cantilever digunakan untuk mengekstraksi energi suara dari pengeras suara dari berbagai jarak dan kemudian mengubah energi ini menjadi energi listrik. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan output maksimum 26.7

mV diperoleh dengan intensitas suara 78,6 dB.

Penelitian sebelumnya yang kedua yaitu jurnal penelitian yang berjudul " *Electromagnetic energy harvester for harvesting acoustic energy*" yang dipublikasikan di *Indian Academy of Sciences* pada tahun 2016, ditulis oleh Farid U Khan dan Izhar dari *Institute of Mechatronics Engineering, University of Engineering and Technology, Pakistan* Jurnal ini membahas sistem pemanen energi akustik elektromagnetik untuk mengkonversi energi akustik dan menggunakan resonator Helmholtz [7].



Gambar 1.2. (a) Tampilan penampang,
 (b) Tampilan prototipe [7].

Kinerja pemanen dianalisis dilakukan pada laboratorium maupun lingkungan nyata. Di laboratorium pada tingkat tekanan suara 100 dB menghasilkan tegangan beban puncak 198,7 mV, ketika dilakukan pada lingkungan nyata menghasilkan tegangan maksimum 25 mV ketika

terkena kebisingan akustik sepeda motor dan menghasilkan tegangan optimal 60 mV saat ditempatkan di sekitar lingkungan industri.

Penelitian sebelumnya yang ketiga yaitu jurnal penelitian yang berjudul " *Generator of Electrical Energy from Sound Energy*" yang ditulis oleh Mehul Garg, Devyani Gera, Aman Bansal, dan Arpan Kumar pada tahun 2019, dari *Department of Electronics & Communications, Jaypee Institute of Information Technology, Nodia, India*. Jurnal ini membahas dimana speaker dan transformator digunakan untuk mengubah kebisingan yang dihasilkan menjadi energi listrik. Getaran yang diciptakan oleh kebisingan dapat diubah menjadi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Hasilnya pada

tingkat tekanan suara 90 dB dihasilkan tegangan senilai 1.62 V [2].

Penelitian sebelumnya yang keempat yaitu jurnal penelitian yang berjudul "*Evaluation of Electric Energy Generation from Sound Energy Using Piezoelectric Actuator*" yang dipublikasikan di *International Journal of Science and Research (IJSR)* pada tahun 2016, ditulis oleh Mohana Faroug Saeed Attia dan Afraa Ibraheim Mohmmed Abdalateef dari *University of Dongola and University of Khartoum, Sudan*. Jurnal ini membahas karya eksperimental, generator piezoelektrik timbal zirkonat titante (PZT aktuator) digunakan untuk mengekstraksi energi suara dari penguas suara dari berbagai jarak dan kemudian mengubah energi ini menjadi energi listrik. Tegangan

maksimum yang dihasilkan oleh generator piezoelektrik terjadi ketika frekuensi resonan beroperasi di dekat frekuensi suara. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan output maksimum 28,8 mVrms diperoleh dengan intensitas suara 80,5 dB frekuensi resonansi 65 Hz pada jarak 1 cm dalam mode pertama. Dalam mode kedua, tegangan output maksimum 94 m Vrms diperoleh dengan intensitas suara 105,7 dB pada frekuensi resonansi 378 Hz pada 1 cm yang lebih besar dari pada mode pertama [13].

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang, membuat dan menguji sistem pemanen energi dengan menggunakan *loudspeaker* pengkonversi

2. Lama waktu pengisian daya baterai atau kapasitor yang digunakan
3. Besar potensial listrik yang dihasilkan untuk masing – masing kebisingan

Dalam penelitian terdapat batasan masalah dengan tujuan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Berikut batasan masalah penelitian :

- a. Penggunaan *loudspeaker* sebagai pengkonversi pada sistem pemanenan energi.
- b. Proses pemanenan dilakukan pada kebisingan dengan tingkat tekanan bunyi tidak lebih dari 100 dB dalam pengambilan data.
- c. Pengujian beban hanya digunakan lampu LED.

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Merancang, membuat dan menguji sistem pemanen energi dari *loudspeaker*.
- b. Mengetahui kemampuan *loudspeaker* dalam menghasilkan energi listrik dari gelombang bunyi yang diterimanya.
- c. Mengetahui berapa potensial energi terbuang seperti kebisingan dapat digunakan sebagai energi alternatif.

1.6. Kegunaan Penelitian

Adapun kegunaannya yaitu :

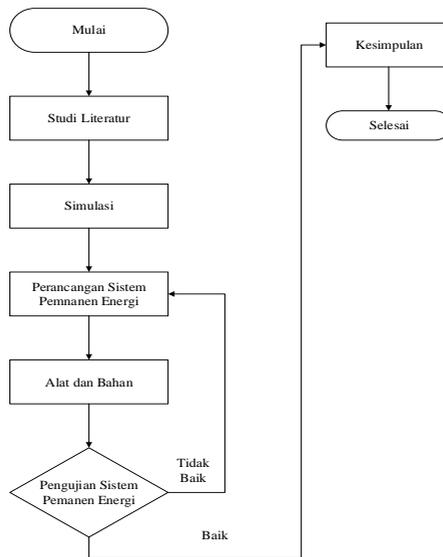
- a. Kegunaan ilmiah sebagai bahan referensi bagi mahasiswa lain, khususnya mahasiswa Universitas

Nasional Jakarta yang akan atau sedang melakukan penelitian.

- b. Kegunaan praktis, dapat memanfaatkan energi terbuang seperti kebisingan sebagai energi listrik sebagai energi alternatif.

4.2 Kerangka Berpikir

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini, ditampilkan dalam bentuk diagram alir berikut :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan wawasan umum,

berhubungan dengan sistem dan alat yang akan dibuat, landasan teori yang digunakan dan mengetahui perancangan-perancangan yang sebelumnya telah dilakukan. Studi literatur juga berguna untuk mempelajari mengenai prosedur perancangan yang tepat dan memperbaiki kekurangan kekurangan yang masih ada di perencanaan sebelumnya. Sumber literatur antara lain; buku, jurnal, internet dan tugas akhir serta hasil penelitian.

b. Simulasi

Secara umum, simulasi adalah cara untuk menduplikasi atau menggambarkan ciri, tampilan dari suatu sistem yang nyata. Simulasi juga merupakan satu cara untuk memecahkan dari banyak persoalan

yang dihadapi. Metode yang digunakan dalam simulasi dapat dibangun dengan *operation research* dan *system analyst*.

c. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di tempat kerja penulis yang terletak di Jalan R.C Veteran Raya No.89, RT 01/RW 03, Bintaro, Kec. Pesanggrahan, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 12330 berdasarkan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Penulis sudah mengenal dengan sangat baik situasi dan kondisi tempat dan sekitarnya.
- b. Penulis mempertimbangkan waktu, biaya dan tenaga karena lokasi tersebut terjangkau oleh penulis.

4.3. Perancangan Sistem Pemanen Energi

Agar penelitian berjalan dengan baik dan lancar maka diperlukan peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian seperti yang telah dibahas pada penentuan model & spesifikasi sistem. Adapun peralatan serta bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

a. Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan serta pengujian sistem adalah sebagai berikut:

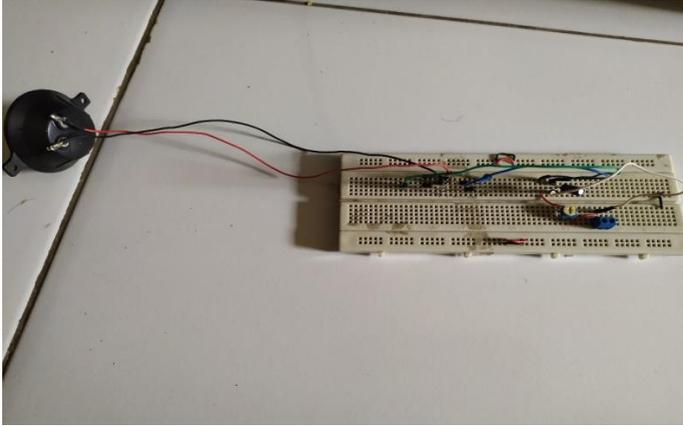
1. Multimeter Digital Merk MASDA DT830D
2. Sound Level Meter Digital Lutron SL-40
3. Function Generator
3. *Toolset*

4. Solder
5. *Project Board*

b. Bahan

Bahan serta spesifikasi yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian sistem pemanen energi adalah sebagai berikut:

1. *Buzzer piezoelectric ceramic treble rectangle audio speaker*
2. *Dioda*
3. LED merah 1,8 V
4. Resistor 1 k Ω dan 100 Ω
5. Kapasitor Elco 100 μ F



Gambar 3.2. Rancangan Sistem Pemanen Energi menggunakan *loudspeaker buzzer piezoelectric*

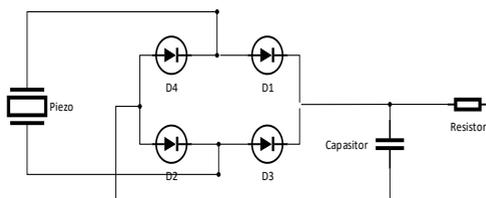
4.4 Pengujian Sistem Pemanen Energi

a. Pengujian dengan Function Generator Frekuensi 60 - 80 Hz

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Sumber bunyi yang digunakan adalah sebuah function generator . Pengujian pertama dengan mengukur menggunakan

sumber suara dari function generator dengan variasi frekuensi yang berbeda – beda dengan rentang frekuensi antara 60 – 80 Hz. Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level*, SPL) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter* (SLM) digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan 20 μ Pa. Pada jarak 20 cm dari sumber suara SPL maksimum yang dapat dihasilkan oleh function generator dan pengeras suara speaker woofer sebagai sumber adalah 90 dB. *Loudspeaker* pengkonversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *buzzer piezoelectric ceramic treble rectangle audio speaker* dengan ukuran 8.6 x 8.6 x 7.2 cm.

Dalam eksperimen ini, bunyi dari sumber suara diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus bolak – balik yang dilewatkan pada sebuah resistansi (R) 1 k Ω . Tegangan dan arus yang dihasilkan diukur dengan menggunakan sebuah multimeter digital MASDA model DT830D. Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur tegangan pada resistor pada SPL 90 dB.



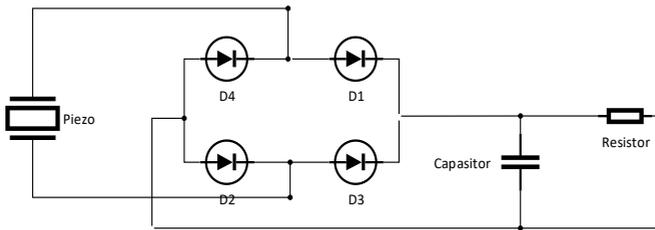
Gambar 3.3 Pengujian dengan function generator frekuensi 62 – 80 Hz

b. Pengujian dengan Function Generator Frekuensi 60 – 500 Hz

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Sumber bunyi yang digunakan adalah sebuah function generator . Pengujian pertama dengan mengukur menggunakan sumber suara dari function generator dengan variasi frekuensi yang berbeda – beda dengan rentang frekuensi antara 60 – 500 Hz. Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level*, SPL) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter* (SLM) digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan 20 μ Pa. Pada jarak 20 cm dari sumber suara SPL maksimum yang dapat dihasilkan oleh function generator dan

pengeras suara speaker woofer sebagai sumber adalah 90 dB. *Loudspeaker* pengkonversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *buzzer piezoelectric ceramic treble rectangle audio speaker* dengan ukuran 8.6 x 8.6 x 7.2 cm.

Dalam eksperimen ini, bunyi dari sumber suara diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus bolak – balik yang dilewatkan pada sebuah resistansi (R) 1 k Ω . Tegangan dan arus yang dihasilkan diukur dengan menggunakan sebuah multimeter digital MASDA model DT830D. Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur tegangan pada resistor pada SPL 90 dB.



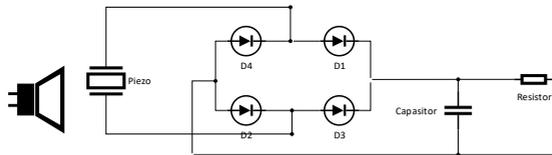
Gambar 3.4 Pengujian dengan function generator frekuensi 60 – 500 Hz

c. Pengujian dengan Speaker Subwoofer

Pengujian kedua digunakan adalah sebuah pengeras suara speaker Subwoofer. Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh

tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level*, SPL) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter* (SLM) digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan $20 \mu\text{Pa}$. Pada jarak 20 cm dari sumber suara SPL maksimum yang dapat dihasilkan oleh pengeras suara speaker woofer sebagai sumber adalah 103 dB. Bunyi dari sumber suara diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus bolak – balik yang dilewatkan pada sebuah resistansi (R) 100Ω . Tegangan yang dihasilkan diukur dengan menggunakan sebuah multimeter digital MASDA model DT830D. Eksperimen ini dilakukan dengan

mengukur tegangan pada resistor pada SPL 103.



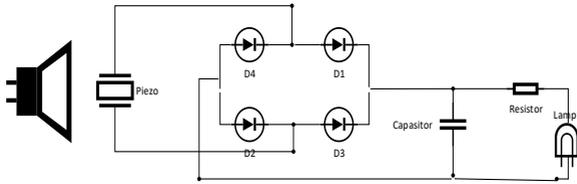
Gambar 3.5 Pengujian dengan speaker Subwoofer

d. Pengujian diberi beban lampu LED

1.8 V

Pengujian digunakan adalah sebuah pengeras suara speaker Subwoofer. Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level*, SPL) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter* (SLM) digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan

20 μPa . Pada jarak 20 cm dari sumber suara SPL maksimum yang dapat dihasilkan oleh pengeras suara speaker woofer sebagai sumber adalah 103 dB. Bunyi dari sumber suara diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus bolak – balik yang dilewatkan pada sebuah resistansi (R) 100 Ω . Tegangan yang dihasilkan diukur dengan menggunakan sebuah multimeter digital MASDA model DT830D. Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur tegangan pada resistor pada SPL 103. Pada Pengujian ini, sisi output dihubungkan dengan lampu LED. Pengujian ini mengamati LED mulai aktif dan non-aktif pada saat input diberikan.



Gambar 3.6 Pengujian diberi beban lampu LED 1.8 V

e. Pengujian dengan mesin – mesin industri

Pengujian dilakukan pada mesin – mesin industri yang memiliki kebisingan tinggi dengan nilai SPL yang berbeda – berbeda. Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level, SPL*) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter (SLM)* digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan $20 \mu\text{Pa}$. Pada jarak 20 cm dari sumber suara SPL

maksimum yang dapat dihasilkan oleh mesin – mesin industri. Bunyi dari sumber suara diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus bolak – balik yang dilewatkan pada sebuah resistansi (R) 100Ω . Tegangan yang dihasilkan diukur dengan menggunakan sebuah multimeter digital MASDA model DT830D. Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur tegangan pada resistor pada SPL 103.

4.5 Hasil dan Pembahasan Sistem

a. Pengujian dengan variasi frekuensi antara 60 – 80 Hz

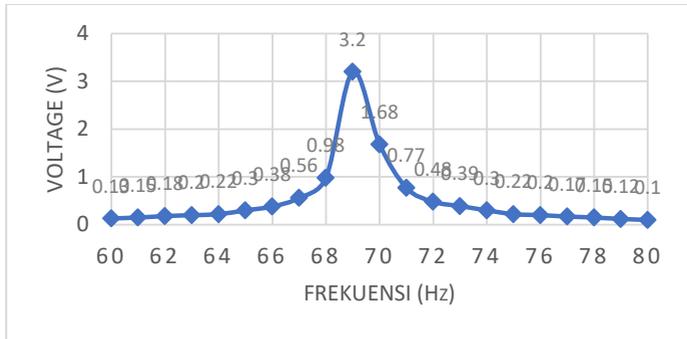
Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon maksimum dari tegangan, daya dan arus yang dihasilkan dari variasi frekuensi yang diberikan oleh function generator pada rancangan sistem pemanen energi akustik. Rangkaian menggunakan beban senilai 1 k Ω .

Tabel 4.1 Respon Tegangan, Arus dan Daya pada Frekuensi 60 – 80 Hz

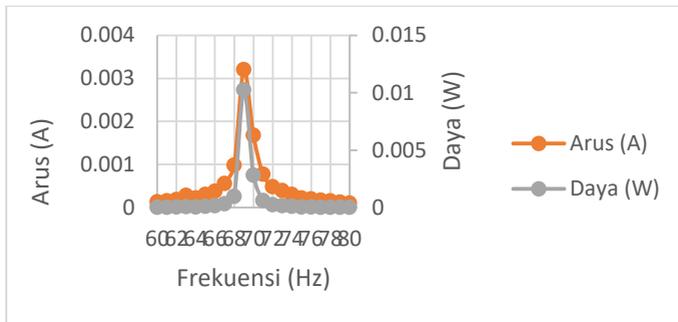
Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
60	0.13	0.00013	0.0000169
61	0.15	0.00015	0.0000225

		5	5
62	0.18	0.0001 8	0.000032 4
63	0.2	0.0002 8	0.000072 8
64	0.22	0.0002 2	0.000048 4
65	0.3	0.0003	0.00009
66	0.38	0.0003 8	0.000144 4
67	0.56	0.0005 6	0.000313 6
68	0.98	0.0009 8	0.000960 4
69	3.2	0.0032	0.01024
70	1.68	0.0016 8	0.002822 4
71	0.77	0.0007 7	0.000592 9
72	0.48	0.0004	0.000230

		8	4
73	0.39	0.0003 9	0.000152 1
74	0.3	0.0003	0.00009
75	0.22	0.0002 2	0.000048 4
76	0.2	0.0002	0.00004
77	0.17	0.0001 7	0.000028 9
78	0.15	0.0001 5	0.000022 5
79	0.12	0.0001 2	0.000014 4
80	0.1	0.0001	0.00001



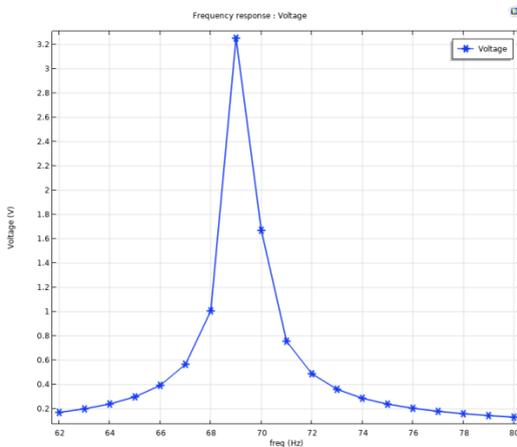
Gambar 4.1 Grafik respon tegangan pada frekuensi 60 – 80 Hz



Gambar 4.2 Grafik respon arus dan daya pada frekuensi 60 – 80 Hz

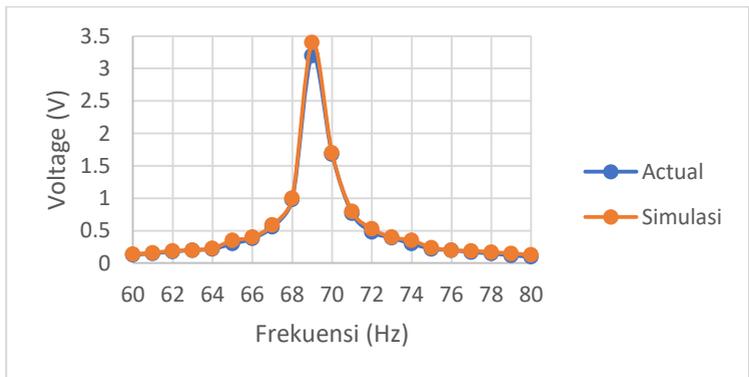
Pada pengujian ini diperoleh respon tertinggi pada frekuensi 69 Hz, dimana tegangan, arus dan daya yang

dihasilkan berurutan sebagai berikut ;
tegangan diperoleh sebesar 3,2 Volt,
dengan arus sebesar 0,0032 Ampere
dan daya sebesar 0,01024 watt. Hasil ini
lalu dibandingkan dengan inputan ke
sebuah simulasi dengan parameter
yang sama yaitu digunakan resistor
senilai 1 k Ω pada frekuensi 60 – 80 Hz,
hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik respon tegangan dari
simulasi pada frekuensi 60 – 80 Hz

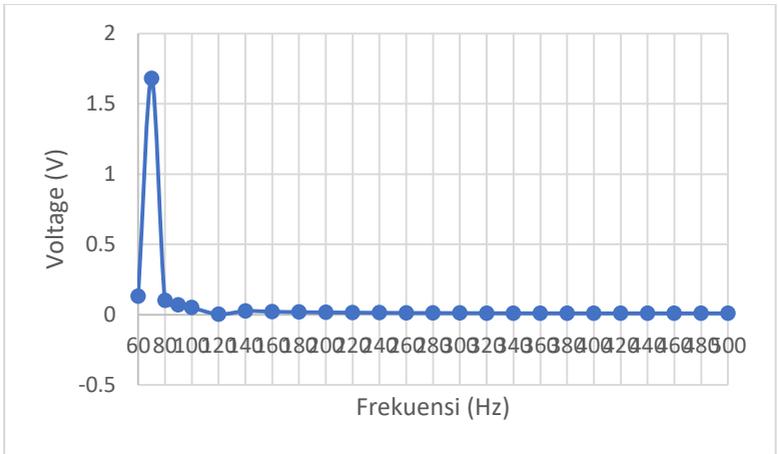
Hasil pengujian secara langsung dan hasil pada simulasi tidaklah memiliki perbedaan yang jauh. Hasil pada pengujian langsung dapat dikatakan hampir serupa pada hasil simulasi, jika kedua grafik digabungkan dapat dilihat pada gambar 4.4.



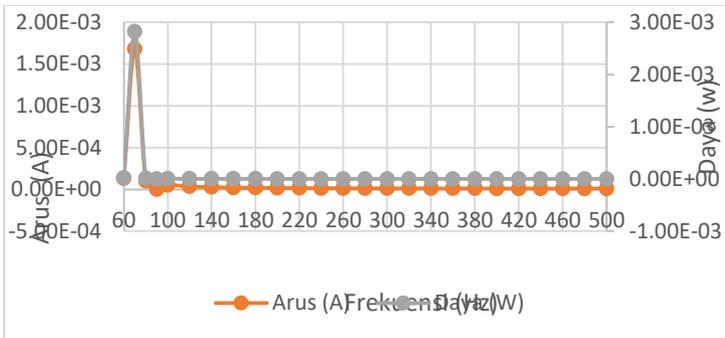
Gambar 4.4 Grafik perbandingan hasil pengujian langsung dan hasil simulasi

4.1.2 Pengujian dengan variasi frekuensi antara 60 – 500 Hz

Pengujian ini dilakukan untuk melihat respon maksimum dari tegangan, daya dan arus yang dihasilkan dari variasi frekuensi yang diberikan oleh function generator sampai dengan 500 Hz pada rancangan sistem pemanen energi akustik. Rangkaian menggunakan beban senilai 1 k Ω

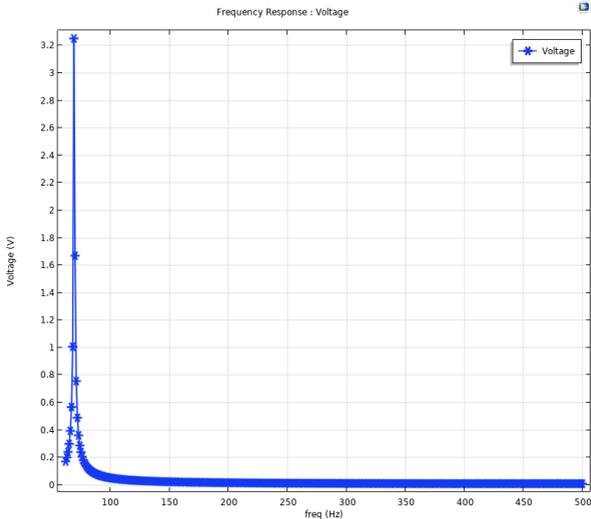


Gambar 4.5 Grafik respon tegangan pada frekuensi 60 – 500 Hz



Gambar 4.6 Grafik respon arus dan daya pada frekuensi 60 – 500 Hz

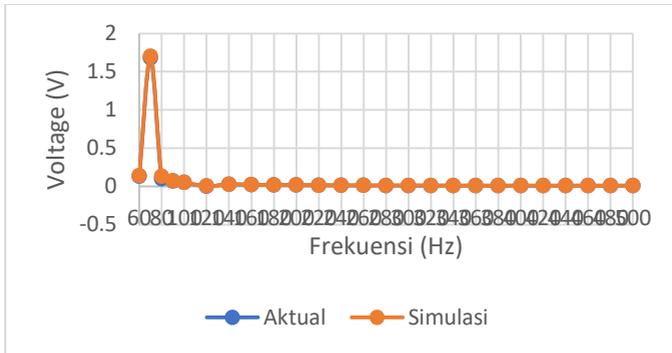
Pada pengujian dengan variasi frekuensi dari 60 – 500 Hz diperoleh respon tertinggi pada frekuensi 69 Hz. Hasil ini jika dibandingkan dengan simulasi dimana angka simulasi dimasukkan dari hasil penelitian diperoleh respon tertinggi pada frekuensi 69 Hz juga dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik respon tegangan dari simulasi pada frekuensi 60 – 500 Hz

Hasil pengujian secara langsung dan hasil pada simulasi tidaklah memiliki perbedaan yang jauh. Hasil pada pengujian langsung dapat dikatakan hampir serupa pada hasil simulasi, jika kedua grafik digabungkan dapat dilihat pada gambar 4.8.

Pada pengujian dengan frekuensi 60 – 500 Hz, ternyata semakin tinggi frekuensi yang diberikan hasil respon tegangan yang dihasilkan tidaklah menambah tegangan yang dihasilkan justru respon tertinggi tetap di frekuensi 69 Hz.



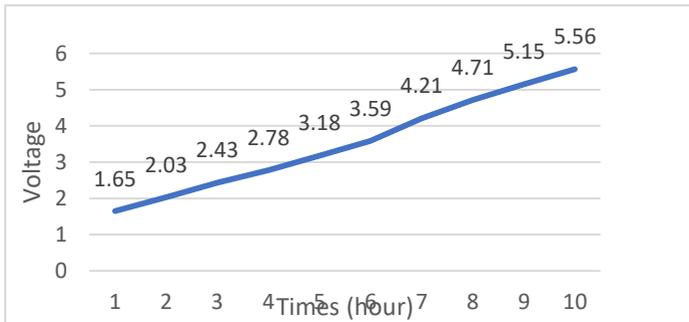
Gambar 4.8 Grafik perbandingan hasil pengujian langsung dan hasil simulasi

4.2. Hasil Pengujian Sistem dengan Speaker Subwoofer

Hasil dari pengujian sistem pemanen energi pada laboratorium dengan nilai SPL 103 dB. Berikut adalah hasil dari pengujian sistem pemanen energi:

Tabel 4.3. Hasil pengujian sistem speaker subwoofer

No.	Waktu (hour)	Tegangan (V)
1	1	1,65
2	2	2,03
3	3	2,43
4	4	2,78
5	5	3,18
6	6	3,59
7	7	4,21
8	8	4,71
9	9	5,15
10	10	5,56



Gambar 4.9. Grafik Sistem pemanen energi pada SPL 103 dB

Berdasarkan tabel di atas dan penyajian dari grafik, sistem pemanen energi akustik yang diuji, telah memenuhi kriteria perancangan dan memiliki kualitas yang baik. Sistem pemanen energi dapat merespons dengan baik terhadap sumber suara yang diterima. Hal ini berarti komponen – komponen sistem pemanen energi bekerja sebagaimana mestinya. Sistem pemanen energi melakukan pengisian daya cukup baik tetapi memerlukan waktu yang sangat lama, hal ini menunjukkan diperlukan lebih dari satu alat pengkonversi suara menjadi listrik dan dibuat secara paralel, lalu dihubungkan dengan sebuah resonator agar sumber suara yang diterima dapat terpusat pada satu titik, sehingga getaran suara yang diterima bias lebih

besar dan jumlah yang dikonversi pun lebih besar.

4.3. Hasil Pengujian dengan Beban LED

Hasil dari pengambilan data kinerja sistem berupa status LED 1,8 V pada pengujian beban. Hasil pengambilan data pengujian beban pada LED 1,8 V pada durasi pengisian selama 10 jam.

Berdasarkan tabel diatas sistem pemanen energi yang diuji dengan diberi beban berupa LED 1.8 V didapat status LED yang dapat menyala, meskipun hanya beberapa saat saja. Hal ini membuktikan bahwa sistem pemanen energi teruji dapat memberikan output ke beban uji yaitu berupa LED.

4.4. Hasil Pengujian Sistem pada mesin – mesin Industri

Pengambilan data pengujian sistem di lingkungan nyata yaitu dengan menguji sistem pemanen energi langsung di tempat – tempat yang memiliki sumber kebisingan. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil sumber kebisingan dari mesin – mesin produksi yang ada di pabrik.

Tabel 4.5 Hasil pengujian sistem dari sumber kebisingan mesin – mesin produksi

No.	Sumber Suara	SPL (dB)	Tegangan (V)
1	Dust Collector	84	0,60
2	Chiller	87	0,70
3	Genset	115	2,70

4	Vacuum Pump	97	1,74
5	Fitzmill	97	1,70
6	Ultrasonic Bath	93	1.65
7	Trucking Washing	92	1,58
8	Labelling Machine	87	0,70
9	Shredder Machine	90	1,62
10	King Counter	93	1,64

Berdasarkan tabel diatas sistem pemanen energi yang diuji langsung dengan sumber kebisingan dari mesin – mesin produksi ternyata dapat juga bekerja dengan baik, tetapi hasil output yang diperoleh tetap tidak terlalu besar,

hal ini juga menunjukkan bahwa sistem pemanen energi akustik memang memerlukan suatu alat tambahan berupa resonator agar sumber suara yang diterima dapat tertangkap pada satu titik melalui resonator, sehingga hasil yang didapat pun dapat lebih optimal.

4.6 Simpulan

Telah dirancang sistem pemanen energi akustik menggunakan *loudspeaker* pengkonversi berjenis *buzzer piezoelectric ceramic treble rectangle audio speaker*. Alat dapat mengkonversi energi akustik menjadi energi listrik. Hal ini dilihat dari nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan selama sistem pemanen beroperasi.

Hasil – hasil pengujian dalam penelitian ini menunjukkan bahwa suara atau kebisingan dapat digunakan sebagai energi listrik dan *loudspeaker* pengkonversi bisa juga digunakan sebagai transduser akustik untuk mengubah energi suara menjadi energi listrik dengan sistem energi *harvesting*.

Potensial energi yang terbuang dari kebisingan dapat digunakan sebagai energi alternatif. Hal ini dilihat dari nilai daya energi yang dihasilkan jika daya tersebut disimpan dalam jumlah yang banyak dan di dalam superkapasitor.

Sistem pemanen energi akustik yang dibuat dan diuji dalam penelitian ini, masih terbatas hanya dapat mengetahui jumlah output tegangan yang dihasilkan dan pengujian beban

pun hanya pada LED. Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar merancang bangun sistem yang dapat memanen energi akustik dengan hasil output yang cukup besar, terutama dapat digunakan lebih dari satu transduser piezoelektrik dan menggunakan resonator Hemholtz agar dapat diterapkan dengan beban yang lebih besar sehingga energi akustik ini benar – benar dapat digunakan sebagai energi alternatif.

Referensi

- [1] K. Hantrakul, P. Pramokchon, P. Khoenkaw, N. Tantitharanukul, and K. Osathanunkul, "Automatic faucet with changeable flow based on MQTT protocol," 20th Int. Comput. Sci. Eng. Conf. Smart Ubiquitos Comput. Knowledge, ICSEC 2016, pp. 1–5, 2017.
- [2] T. Mantoro and W. Istiono, "Saving water with water level detection in a smart home bathtub using ultrasonic sensor and Fuzzy logic," Proc. 2nd Int. Conf. Informatics Comput. ICIC 2017, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2018.
- [3] J. A. Prakosa and L. P. Kozlova, "Design and simulation of automatic control valve for gas flow meter calibrator of bell

prover," Proc. 2018 IEEE Conf. Russ. Young Res. Electr. Electron. Eng. ElConRus 2018, vol. 2018-Janua, pp. 966–969, 2018.

- [4] E. C. Prima, S. S. Munifaha, R. Salam, M. H. Aziz, and A. T. Suryani, "Automatic Water Tank Filling System Controlled Using ArduinoTM Based Sensor for Home Application," *Procedia Eng.*, vol. 170, pp. 373–377, 2017.
- [5] S. Ullah, G. Saman, and F. Khan, "Hand gesture recognition for automatic tap system," *2015 Intell. Syst. Comput. Vision, ISCV 2015*, pp. 2–6, 2015.
- [6] M. Automation and C. Engineering, "Design of Automatic Controlling System for Tap - Water Using Floatless Level Sensor fl," pp. 18–21,

2014.

- [7] U. Berbasis and A. Uno, "November 2019 P ISSN 2614-5979 Sigma Teknika , Vol . 2 , No . 2 : 192-201," vol. 2, no. 2, pp. 192–201, 2019. [Accessed: 14-Feb-2020].
- [8] D. Almanda, E. Dermawan, A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and A. N. Fajar, "Analisis Desain Optimum Model Piezoelektrik PvdF Untuk Sumber Pembangkit Listrik Air Hujan Berskala Mini," Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2015, no. November 2015, pp. 1–5, 2015.
- [9] D. I. N. Elfi Yulia, Eka Permana Putra, Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D, "Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor,"

J.Oto.Ktrl.Inst Vol 8 (1), 2016 ISSN 2085-2517, vol. No.10, no. 1, pp. 34–38, 2016.

- [10] J. Yadav, P. D. Scholar, and D. M. T. Scholar, “Design of an open channel fluid flow system for piezoelectric energy harvesting,” *Int. J. Latest Trends Eng. Technol.*, vol. 8, no. 41, pp. 244–249, 2017.
- [11] E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti, and A. Gatto, “Energy harvesting applied to smart shoes,” *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 8, pp. 412–421, 2018.
- [12] 2017 Abdullah, M.” *Gelombang*”, *Fisika Dasar II*, Institut Teknologi Bandung, No Title. .
- [13] J. T. Sipil, P. Sarjana, and T. Unsoed, “*Mekanika fluida*,” 2005.

- [14] 2016 Abdullah, M. "Usaha dan Energi". Fisika Dasar I, Institut Teknologi Bandung, No Title. .
- [15] E. Britto, "Energy Harvesting using Piezoelectricity," no. Icesa, pp. 517–521, 2015.
- [16] O. Access, "We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % Thermoelectric Energy Harvesting : Basic Principles and Applications."
- [17] "TP4056 / TC4056A Lithium Battery Charger and Protection Module." [Online]. Available: <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm>. [Accessed: 28-Jun-2020].

- [18] S. N. Kane, A. Mishra, and A. K. Dutta, "Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)," J. Phys. Conf. Ser., vol. 755, no. 1, 2016.
- [19] "Penjelasan tentang sistem DC Buck Converter - Nyebarilmu." [Online]. Available:
<https://www.nyebarilmu.com/penjelasan-tentang-sistem-dc-buck-converter/>. [Accessed: 06-Aug-2020].
- [20] M. E. Series and P. F. M. S. Dc, "DC / DC Step up Converter ME2108 Series General Description : Features : Selection Guide : Applications : Pin Configuration : Pin Assignment : ," pp. 1–12.
- [21] "Arduino - ArduinoProMini." [Online]. Available:

<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoProMini>. [Accessed: 14-Feb-2020].

- [22] STMicroelectronics, "World smallest Time-of-Flight (ToF) laser ranging sensor VL53L0X," no. May, pp. 1–4, 2016.
- [23] TowerPro, "TowerPro SG90 Micro Servo," Cytron Technol., pp. 3–5.
- [24] "Perbedaan Ball Globe dan Gate Valve | Indonesian Piping Knowledge." [Online]. Available: <http://www.idpipe.com/2017/01/perbedaan-ball-globe-gate-valve.html>. [Accessed: 06-Aug-2020].

Tentang Penulis



Erna Kusuma Wati lahir di Sukoharjo 22 Januari 1989. Merupakan Alumni SMA Negeri 1 Klaten yang menyelesaikan Studi Pendidikan Fisika dari Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta (2010). Master of Science ilmu Fisika dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (2013). Saat ini merupakan Dosen aktif di Program Studi Teknik Fisika Universitas Nasional, Jakarta.

ISBN 978-623-7273-03-5



9 786237 273035