

Energi Alternatif Melalui Getaran Beban Mekanis

Dimas Ramadhan Putra^{1*}, Jhav Sund Oktoricoento¹, Sahrudin¹, M. Mujirudin¹, Harry Ramza¹,
Oktarina Heriyani¹, Akhiruddin Maddu²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
Jalan Tanah Merdeka No 6, Kp Rambutan, Jakarta, Indonesia
Telp : +62-21-8400341, Faks : +62-21-8411531

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor,
Jalan Meranti, Kampus IPB Dramaga, Babakan, Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680
Telp: (0251) 8625481

E-mail : dimasramadhanptr@gmail.com*; royale.jhavsund@gmail.com; sahrudinace@gmail.com
mujirudin@uhamka.ac.id; hramza@uhamka.ac.id; akhiruddin@ipb.ac.id

Abstrak – *Kebutuhan listrik selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Listrik merupakan salah satu kebutuhan sangat penting yang digunakan untuk memudahkan kehidupan manusia, misalnya untuk penerangan saat malam hari, menjalankan peralatan rumah tangga serta untuk berbagai pekerjaan manusia lainnya. Penelitian ini memuat tentang pemanfaatan getaran beban mekanis yang berasal dari sepeda motor sebagai sumber getaran dan piezoelektrik digunakan sebagai media konversi getaran dengan beban yang berbeda-beda sebagai penghasil sumber energi. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model prototipe skala kecil yang diuji dengan multimeter digital DT830B. Data yang didapat dari pengujian sensor piezoelektrik menunjukkan ketika penyusunan secara seri, daya keluaran yang dihasilkan paling tinggi 19.4888 μ W dengan beban maksimum 186 kg, sedangkan untuk penyusunan sensor secara parallel daya yang dihasilkan mencapai 61.5043 μ W dari beban 186 kg sebagai indikasi getaran beban mekanis yang diberikan.*

Kata Kunci : *Piezoelektrik, Getaran Beban Mekanis, Sumber Energi Terbarukan, Energi Alternatif, Sepeda Motor.*

Abstract – *Electricity needs increase over time. Electricity is a very important requirement that is used to facilitate human life, for example for lighting at night, running household appliances and for various other human works. This research was carried out by making a small-scale prototype model which was measured by Digital Multimeter DT830B series. The data obtained from the testing of piezoelectric sensors showed that when compiled in series, the highest output power was 19.4888 μ W with a maximum load of 186 kg, while for the preparation of sensors in parallel the resulting power reached 61.5043 μ W from a load of 186 kg as an indication of the mechanical load vibration provided.*

Keywords : *Piezoelectric, Mechanical Load Vibration, Renewable Energy Sources, Alternative Energy, Motorbikes*

1 Pendahuluan

Kebutuhan listrik selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Listrik merupakan salah satu kebutuhan sangat penting yang digunakan untuk memudahkan kehidupan manusia, misalnya untuk penerangan saat malam hari, menjalankan peralatan rumah tangga serta untuk berbagai pekerjaan manusia lainnya. Energi listrik dapat dihasilkan dari pelbagai sumber dari yang tidak terbarukan hingga terbarukan, salah satunya menggunakan piezoelektrik. Bahan piezoelektrik adalah material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis.^[1]

Pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan cara memanfaatkan mobilisasi kegiatan manusia serta gerakan tubuh, pemanfaatan teknologi piezoelektrik dapat digunakan sebagai penghasil sumber energi. –Pada penelitian ini memuat tentang pemanfaatan sensor piezoelektrik sebagai media konversi tekanan dengan beban yang berbeda-beda sebagai penghasil sumber energi –pada sepatu.^[2]

Didaerah Pelabuhan Teluk Lamong milik perusahaan manajemen pelabuhan PELINDO III ada rencana pembangunan monorail. Hal ini dikarenakan mengantisipasi jika mungkin pelabuhan Tanjung Perak sedang penuh, maka kapal peti kemas yang belum dapat bersandar bias ditempatkan di Pelabuhan Teluk Lamong. Dengan adanya

pembangunan monorail di Pelabuhan tersebut maka -Fiko selaku peneliti dapat memanfaatkan monorail tersebut sebagai penghasil tenaga listrik dengan menggunakan alat piezoelektrik agar dapat menerangi jalan disekitar monorail tersebut.^[3]

Piezoelektrik adalah material yang menghasilkan energi listrik berdasarkan pengaruh tekanan yang diberikan. Pada penelitian –pengujian desain model piezoelektrik PVDF berdasarkan variasi tekanan– ini piezoelektrik diaplikasikan dengan memanfaatkan tekanan air hujan, hal ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan listrik dari pemerintah untuk skala kecil dirumah tangga.^[1]

Berdasarkan penelitian sebelumnya terdapat beberapa kelemahan pada sistem yang dibuat yaitu pada sepatu hanya dapat digunakan secara terbatas ketika sepatu tersebut digunakan, seperti dibutuhkannya suatu monorail yang terus beroperasi dan melihat diIndonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan dan kemarau maka terdapat kendala jika alat yang sudah diteliti tersebut digunakan pada musim kemarau. Untuk menangani masalah tersebut peneliti memanfaatkan populasi kendaraan sepeda motor yang sangat berpotensi di Indonesia sebagai sumber getaran yang akan diubah oleh piezoelektrik sebagai komponen utama sehingga menghasilkan energi listrik.

2 Dasar Teori

Kata piezoelektrik berasal dari bahasa latin, *piezein* yang berarti diperas atau ditekan dan *piezo* yang bermakna didorong. Bahan piezoelektrik ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Curie. Kata *piezo* berarti tekanan, sehingga efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Mereka mengombinasikan pengetahuan mereka akan piroelektrisitas (kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan) dengan pemahaman akan struktur dan perilaku sebuah kristal. Keduanya kemudian mendemonstrasikan efek piezoelektrik pertama dengan menggunakan kristal *turmalin*, *kuarsa*, *ratna cempaka* dan *garam rossel*. Dari uji coba tersebut diketahui bahwa kristal *kuarsa* dan *garam rossel* memperlihatkan kemampuan piezoelektrisitas paling besar saat itu. Piezoelektrik adalah material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Sebaliknya, jika medan listrik diterapkan, maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis.^[3]

Medan listrik dibuat saat perbedaan voltase diterapkan antara dua elektroda yang diendapkan pada permukaan material tertentu. Jika perubahan perbedaan voltase yang diterapkan, medan listrik serta perubahan perpindahan listrik menginduksi arus listrik melalui elektroda. Rasio antara tegangan yang diberikan dan arus listrik induksi adalah impedansi listrik komponen piezoelektrik. Misalnya, jika hanya memiliki sifat dielektrik, impedansi listrik yang dihasilkan sesuai dengan kapasitansi. Perangkat piezoelektrik termasuk dalam sirkuit listrik dan elektronik untuk menggunakan sifat elektromekanisnya baik dalam aplikasi langsung maupun sebaliknya. Oleh karena itu, penting untuk

mendapatkan model listrik yang memungkinkan komponen piezoelektrik dalam rangkaian listrik. Ini akan sangat memudahkan analisa rangkaian dan pemahaman operasinya.^[4]

2.1 Material Piezoelektrik

Bahan piezoelektrik merupakan kristal yang mampu menghasilkan tegangan listrik saat mengalami tekanan, tarikan atau getaran (*direct piezoelectric*). Kondisi sebaliknya juga berlaku, yaitu bila diberi tegangan listrik, kristal piezoelektrik bergetar (*inverse piezoelectric*).^[9] Bahan piezoelektrik dibagi menjadi empat kelompok yaitu, *piezoceramics*, *piezocrystals*, *piezopolymers* dan *piezocomposite*. Untuk membantu pertimbangan, tabel 2.1 memberikan pilihan sifat dan contoh masing-masing kelompok. *Piezocomposites* berbeda dari tiga kelompok lainnya karena memiliki lebih dari satu fasa fisik yang berbeda dalam struktur material, biasanya ada bahan piezoelektrik dan bahan pasif yang berbeda.^[5]

2.1.1 Piezoceramics

Piezoceramics, saat ini, bahan piezoelektrik yang paling banyak digunakan. Dari asal-usul perkembangan menggunakan BaTiO₃ pada 1950-an, bahan berbasis timbal muncul dengan kinerja tertinggi untuk aplikasi praktis. Bahan arketipe adalah PZT. Secara kristalografi, PZT adalah perovskit dengan simetri heksagonal, kelas 6 mm. Ini mengarah ke penyederhanaan signifikan dalam matriks elasto-listrik. Pertama, matriks simetris tentang diagonal utamanya, mengurangi jumlah koefisien maksimum dari 81 menjadi 45. Kedua, 24 dari koefisien nol, mengurangi jumlah ke 21. Ketiga, banyak dari 21 koefisien ini berbagi atau memiliki nilai terkait, mengurangi jumlah koefisien independen menjadi sepuluh.

Sekarang banyak pengaplikasian menggunakan standar keramik seperti PZT-4 dan PZT-5H, tetapi berbagai macam keramik juga tersedia untuk aplikasi tertentu.

2.1.2 Piezopolymers

Polyvinylidene fluoride (PVDF) adalah polimer piezoelektrik yang paling banyak dilaporkan. Secara kristalografi, PVDF memiliki simetri yang sangat rendah karena poling dicapai dengan membenteng uniaksial atau biaksial daripada penerapan medan listrik. Ini mengarah ke struktur ortorombik, kelas 2 mm dan karena itu memiliki 17 koefisien independen. Sifat-sifat yang membuatnya menarik adalah impedansi akustik rendah, $Z = 3,9 \text{ MRayl}$, Q_m rendah, dan tegangan tinggi konstanta piezoelektriknya, $g_{33} = 0,23 \text{ V.m.N}^{-1}$. Bersama-sama, ini membuatnya menjadi penerima broadband yang sangat baik untuk aplikasi pencitraan sonar dan biomedis bawah air, dimana media ultrasonik memiliki impedansi akustik, $Z \approx 1.5 \text{ MRayl}$. Bentuk fisiknya sebagai film plastik tipis juga menemukannya sebagai aplikasi dan membantu dengan penggunaannya sebagai penerima broadband karena ini menempatkan resonansi fundamentalnya pada frekuensi tinggi, memungkinkan operasi yang datar secara spektral pada frekuensi yang lebih rendah.

2.1.3 Piezocrystals

Piezocrystals adalah bahan piezoelektrik pertama tetapi sebagian besar digantikan oleh keramik piezoelektrik. Namun, lithium niobate (LiNbO_3) dan aluminium nitride (AlN) adalah dua piezocrystals dengan sifat yang membuat mereka menarik untuk aplikasi spesifik. Dalam istilah kristalografi, LiNbO_3 memiliki simetri lebih rendah dari PZT tetapi simetri lebih tinggi dari PVDF, menjadi trigonal, kelas 3 m, dengan 12 koefisien elasto-listrik independen. Rugi yang sangat rendah dan kecepatan rambatan longitudinal yang sangat tinggi membuatnya sangat cocok untuk aplikasi frekuensi tinggi, kecepatan propagasi mengarah ke ketebalan yang relatif besar untuk frekuensi operasi yang diberikan. LiNbO_3 juga telah dipilih untuk aplikasi dengan suhu tinggi karena suhu Curie yang sangat tinggi, $T_c \approx 1200^\circ\text{C}$. AlN memiliki simetri kristalografi yang sama dengan PZT dan karakteristik perilaku yang mirip dengan LiNbO_3 . Namun, dibandingkan dengan realisasinya sebagai film tipis yang sangat lambat. Ini telah menyebabkan penggunaannya pada perangkat gelombang akustik permukaan dan dalam eksplorasi untuk aplikasi di mana ia dapat diintegrasikan dengan benda uji untuk NDE atau dengan sirkuit untuk penginderaan minimal invasif.

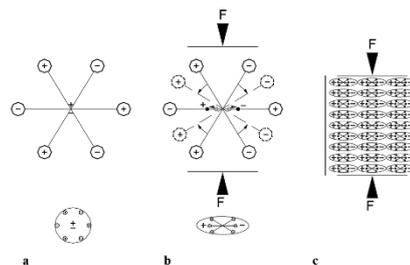
2.1.4 Piezocomposites

Bahan Piezocomposite meningkatkan kinerja transduser ultrasonik terutama dalam aplikasi dimana ada ketidakcocokan impedansi akustik besar antara piezoceramic dan medium propagasi ultrasound. Aplikasi tersebut termasuk pencitraan biomedis, sonar bawah air dan NDE ketika transduser digabungkan ke objek uji melalui komponen antara seperti irisan perspex. Piezocomposites biasanya terdiri dari potongan keramik piezoelektrik atau fase kristal tunggal yang terikat dengan matriks polimer. Piezocomposite biasanya ditentukan oleh konektivitas dimensional mereka. Sebagai contoh, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1, komposit konektivitas 1-3 terdiri dari pilar piezoelektrik dalam matriks polimer, komposit 2-2 terdiri dari papan piezoelektrik dan polimer alternatif dan komposit 0-3 terdiri dari partikel piezoelektrik lagi dalam matriks polimer. Secara umum, komposit konektivitas $m-n$ memiliki fase piezoelektrik yang terhubung dalam dimensi m dan fase polimernya dalam n dimensi.

2.2 Efek Piezoelektrik

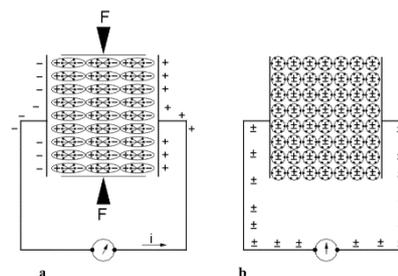
Efek piezoelektrik terjadi jika medan listrik berbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipole yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut dikenal dengan *electrostriction* (efek piezoelektrik). Pada gambar 2.1a menunjukkan model molekul sederhana, ini menjelaskan pembangkit muatan listrik sebagai hasil gaya yang diberikan pada material. Sebelum menuangkan materi ke beberapa tekanan eksternal, pusat gravitasi muatan negatif dan positif masing-masing molekul bertepatan. Oleh karena itu, efek eksternal dari muatan negatif dan positif dibatalkan secara timbal balik.

Akibatnya, molekul elektrik netral muncul. Ketika mengerahkan beberapa tekanan pada material, struktur retikuler internalnya dapat mengalami deformasi, menyebabkan pemisahan pusat gravitasi positif dan negative dari molekul dan menghasilkan sedikit dipol (Gambar 2.1b). Tiang yang menghadap ke dalam material saling dibatalkan dan distribusi muatan terkait muncul dipermukaan material (Gambar 2.1c). Artinya, bahan terpolarisasi. Polarisasi ini menghasilkan medan listrik dan dapat digunakan untuk mengubah energi mekanik yang digunakan dalam deformasi material menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Model molekul sederhana untuk menjelaskan efek piezoelektrik : a. molekul yang tidak terganggu; b. molekul mengalami gaya eksternal, dan c. efek polarisasi pada permukaan material.

Gambar 2.2a menunjukkan bahan piezoelektrik dimana tekanan diterapkan. Dua pelat logam yang digunakan sebagai elektroda diendapkan pada permukaan dimana muatan yang dihubungkan dengan tanda berlawanan muncul. Anggap bahwa elektroda tersebut secara eksternal dihubungkan arus pendek melalui kawat yang dihubungkan dengan galvanometer. Saat mengerahkan beberapa tekanan pada bahan piezoelektrik, kerapatan muatan terkait muncul di permukaan kristal yang bersentuhan dengan elektroda. Polarisasi ini menghasilkan medan listrik yang menyebabkan aliran bermuatan bebas yang ada pada konduktor. Bergantung pada tanda-tanda, beban bebas akan bergerak menuju ujung di mana muatan terkait yang dihasilkan oleh polarisasi kristal adalah tanda yang berlawanan. Aliran beban bebas ini akan tetap ada sampai muatan bebas menetralkan efek polarisasi (Gambar 2.2a). Ketika tekanan pada kristal berhenti, polarisasi akan hilang dan aliran muatan bebas akan terbalik, kembali ke kondisi awal (Gambar 2.2b). Proses ini akan ditampilkan di galvanometer, yang akan menandai dua tanda berlawanan saat ini. Jika resistansi dihubungkan, bukan hubungan arus pendek dan tekanan variabel diterapkan, arus akan mengalir melalui daya tahan dan energi mekanis akan berubah menjadi energi listrik.^[6]



Gambar 2.2 Fenomena piezoelektrik : a. arus penawar yang mengalir melalui hubungan arus pendek yang terbentuk pada bahan piezoelektrik yang dikenai

kekuatan luar; b. tidak adanya arus melalui bahan hubung singkat dalam keadaan tidak teganggu.

2.3 Piezoelektrik Transduser

Transduser piezoelektrik telah digunakan untuk banyak aplikasi pemanen energi. Karena benda tersebut adalah elemen padat yang mengubah energi mekanik secara langsung menjadi energi listrik dan sebaliknya, transduser diterapkan pada struktur getar untuk menghasilkan energi listrik.^[7] Setelah menutupi sifat piezoelektrik dan realisasinya pada bahan yang berbeda, sekarang mungkin untuk mempertimbangkan bagaimana bahan ini dapat digabungkan dalam transducer yang berguna, dimulai dengan transduser elemen tunggal, kemudian menguraikan konfigurasi lainnya. Transduser yang dipertimbangkan di sini terutama untuk pengukuran dan pencitraan. Struktur lain diperlukan untuk ultrasonic daya dan saat pengukuran dan pencitraan membutuhkan sumber daya tinggi, misalnya untuk sonar bawah jarak jauh atau frekuensi rendah.^[8]

2.4 Perhitungan Dasar Piezoelektrik

Adapun perhitungan – perhitungan voltase, displasment serta kapasitas penampungan daya dari beberapa bentuk piezoelektrik yang terdapat pada tabel 2.2. ^[3]

Tabel 2.1 Persamaan Piezoelektrik Menurut Dimensi ^[3]

Action Mode (L, length; W, width; T, thickness; D, diameter)	Generated Voltage, V	Displacement, Δl (ΔT)	Capacitance, C
Transverse length mode: L > 5W > 5T	$V = \frac{g_{31} F}{A}$	$\Delta l = \frac{d_{31} L}{t} V$	$C = \frac{\epsilon_0^T L W}{t}$
Thickness extension mode: D > 5T	$V = \frac{4Tg_{33} F}{\pi D^2}$	$\Delta T = d_{33} V$	$C = \frac{\pi \epsilon_0^T D^2}{4T}$
Radial mode: D > 5T	Not applied	$\Delta D = \frac{d_{31} D}{t} V$	$C = \frac{\pi \epsilon_0^T \epsilon_r D^2}{4t}$
Longitudinal mode: L > 3D	$V = \frac{\Delta L}{\pi D^2} g_{33} F$	$\Delta L = d_{33} V$	$C = \frac{\pi D^2}{4L} K_1^2 \epsilon_0$
Thickness shear mode: W > 5T, L > 5T	$V = \frac{g_{24} F}{W}$	$\Delta x = d_{24} V$	$C = \frac{LW}{t} K_2^2 \epsilon_0$

Note: F is the force and ϵ_0^T is dielectric permittivity of the material at constant stress in direction 3, K_1^2 is relative dielectric constant ($K_1^2 = \epsilon_0^T / \epsilon_0$), and ϵ_0 is dielectric permittivity in vacuum.

2.5 Kelemahan dan Kekurangan Piezoelektrik

Adapun kelemahannya adalah piezoelektrik bukanlah suatu dielektrik yang bagus. Ada sedikit kebocoran muatan pada material piezoelektrik. Karena fenomena ini, ada suatu konstanta waktu penyimpanan tegangan pada piezoelektrik setelah diberikan suatu gaya. Konstanta waktu ini tergantung pada kapasitansi elemennya dan pada resistansi kebocorannya. Meskipun demikian, elemen piezoelektrik juga mempunyai beberapa kelebihan penting dibandingkan mekanisme sensing yang lain. Pertama dan yang utama

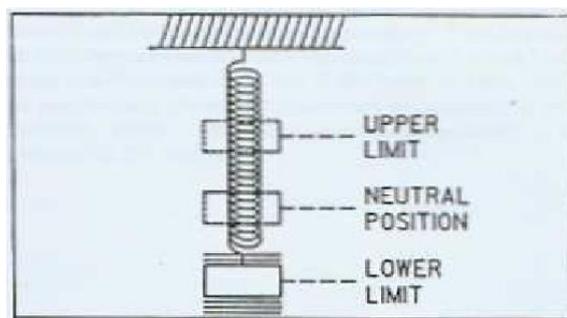
adalah fakta bahwa piranti tersebut membangkitkan sendiri tegangannya. Karena itu elemen ini tidak memerlukan daya dari luar untuk operasionalnya. Untuk suatu aplikasi di mana konsumsi daya sangat terbatas, piranti piezoelektrik sangat berguna. Tambahan lagi, efek piezoelektrik memiliki hukum penyekalaan yang menarik sehingga bermanfaat pada piranti yang kecil. Kekurangan utama sensing piezoelektrik ini adalah sensitifitasnya hanya bagus untuk sinyal yang berubahubah terhadap waktu.

2.6 Pengertian Getaran

Getaran ialah gerakan osilasi disekitar sebuah titik. Getaran terjadi saat mesin atau alat dijalankan dengan motor, sehingga pengaruhnya bersifat mekanis. Getaran merupakan efek suatu sumber yang memakai satuan hertz. Vibrasi adalah getaran, dapat disebabkan oleh getaran udara atau getaran mekanis, misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya.^[13]

Selama proses tersebut berlangsung terus tanpa batas, sistem tersebut terus bergerak bolak-balik melalui posisi keseimbangan. Interval waktu yang dibutuhkan sistem untuk menyelesaikan satu siklus gerak dinamakan frekuensi, dan pergeseran maksimum sistem dari posisi keseimbangan dinamakan amplitude getaran. Jika gerakan yang terjadi hanya diakibatkan oleh gaya-gaya potensial saja, getaran yang terjadi disebut getaran bebas. Jika satu gaya periodik dikenakan pada sistem, gerakan yang terjadi disebut getaran paksa.^[14]

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awalnya. Ilustrasi yang paling sederhana untuk menjalankan getaran adalah melalui mekanisme pegas yang diberi beban pada ujungnya, seperti pada gambar 2.3. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan properties yang menyerupai pegas. Apalagi tidak ada gaya yang diberikan pada beban diujung pegas yang menyebabkan beban tersebut bergerak, maka dapat dikatakan bahwa tidak ada getaran yang terjadi. Dari contoh diatas maka dapat juga dikatakan bahwa getaran adalah merupakan respon dari suatu sistem terhadap eksitasi internal maupun eksternal (stimulus) atau gaya yang diberikan pada sistem tersebut. ^[10]



Gambar 2.3 Mekanisme Pegas dengan Beban pada Ujungnya

2.6.1 Getaran Bebas

Getaran bebas adalah getaran suatu benda (bagian mesin) yang disebabkan oleh adanya gangguan awal seperti, gaya sementara, simpangan awal, kecepatan awal. Jadi yang disebut sebagai getaran bebas yaitu benda tersebut bergetar

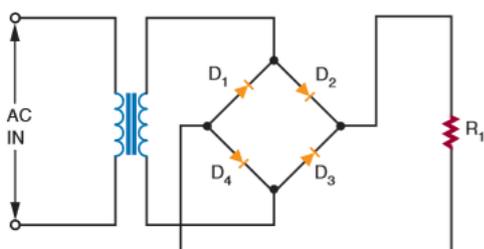
bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang sifat sistem dinamik yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas akan mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan dari luar.^[15]

2.6.2 Getaran Paksa

Getaran suatu benda (bagian mesin yang dipaksakan oleh suatu gaya yang bekerja terus menerus dalam suatu kurun waktu atau getaran terjadi karena adanya rangsangan gaya luar), jika frekuensi rangsangannya sama dengan salah satu frekuensi pribadi sistem, maka akan didapat keadaan Resonansi dan Osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi kerusakan pada struktur besar seperti jembatan gedung atau sayap pada pesawat terbang.^[15]

2.7 Rangkaian Rectifier

Sirkuit penyearah adalah jantung catu daya. Fungsinya untuk mengubah tegangan AC yang masuk ke tegangan DC. Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian penyearah jembatan. Keempat dioda disusun sedemikian sehingga arus mengalir hanya dalam satu arah melalui beban.^[11]



Gambar 2.4 Rangkaian Penyearah Jembatan

2.8 Hukum Kirchoff

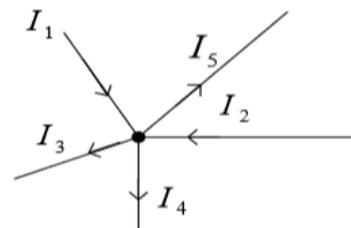
Gustav Robert Kirchoff dia adalah seorang fisikawan Jerman yang berkontribusi pada pemahaman konsep dasar teori rangkaian listrik, spektroskopi, dan emisi radiasi benda hitam yang dihasilkan oleh benda-benda yang dipanaskan. Dia menciptakan istilah radiasi “benda hitam” pada tahun 1862. Gustav Robert pernah menggambarkan komposisi spektrum optik obyek-obyek pijar. Kirchoff merupakan ilmu fisika yang berfungsi untuk mengukur rangkaian arus dan tegangan listrik. Hukum Kirchoff terdiri dari dua persamaan yang membahas tentang kekekalan muatan dan energi dalam rangkaian listrik, dan pertama dijabarkan pada tahun 1845 oleh Gustav Kirchoff. Hukum Kirchoff terbagi menjadi dua macam, yaitu Kirchoff Current Law atau KCL dan Kirchoff Voltage Law atau KVL.

2.8.1 Kirchoff Current Low

KCL merupakan hukum kekekalan muatan listrik yang menyatakan bahwa jumlah muatan listrik yang ada pada sebuah sistem tertutup adalah tetap. Hal ini berarti dalam suatu rangkaian bercabang, jumlah kuat arus listrik yang masuk pada suatu percabangan sama dengan jumlah kuat arus listrik yang ke luar percabangan itu.

Yang dimaksud titik cabang adalah pertemuan antara 3 penghantar atau lebih, yang biasanya ditandai dengan bulatan

berwarna hitam. Contoh penerapan KCL adalah seperti dilukiskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Lima penghantar Bertemu Membentuk Titik Cabang

2.8.1 Kirchoff Voltage Low

Hukum Kirchoff tentang tegangan didasarkan pada hukum kekekalan energi. Ketika muatan listrik q berpindah dari potensial tinggi ke rendah, dimana beda potensialnya ΔV, maka energi muatan itu akan turun sebesar qΔV. Hukum tegangan Kirchoff berbunyi :

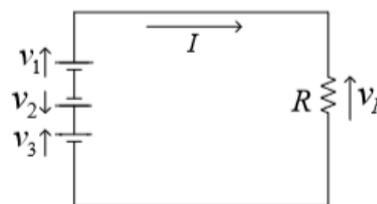
“Jumlah secara aljabar tegangan listrik dalam suatu rangkaian tertutup adalah nol”

Secara ringkas dapat ditulis :

$$\sum V = 0$$

$$\sum v_i = 0$$

Yang dimaksud rangkaian tertutup adalah suatu rangkaian yang terdiri dari sumber tegangan dan beban yang dihubungkan dengan suatu penghantar, sehingga menghasilkan arus listrik. Sedangkan penjumlahan secara aljabar bermakna bahwa tegangan listrik dapat bertanda positif atau negative bergantung cara memasangnya. Sebagai contoh, tinjauan rangkaian pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian Listrik Sederhana

2.9 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data.

Mikrokontroler merupakan komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya bisa disebut pengendali kecil dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat

direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini. Agar sebuah mikrokontroler dapat berfungsi, maka mikrokontroler tersebut memerlukan komponen eksternal yang kemudian disebut dengan sistem minimum. Untuk membuat sistem minimal paling tidak dibutuhkan sistem clock dan reset, walaupun pada beberapa mikrokontroler sudah menyediakan sistem clock internal, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun mikrokontroler sudah beroperasi. Yang dimaksud dengan sistem minimal adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC mikrokontroler tidak akan berarti bila hanya berdiri sendiri. Pada dasarnya sebuah sistem minimal mikrokontroler AVR memiliki prinsip yang sama [18].

2.9.1 Mikrokontroler AVR

AVR mempunyai kepanjangan Advanced Versatile RISC atau Alf-and Vegard’s Risc processor yang berasal dari nama dua mahasiswa Norwegian Institute of Technology (NTH), yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan. Secara umum mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 5 kelompok, yaitu keluarga Attiny, AT90Sxx, ATmega, AVR Xmega, dan AVR32 UC3. Pada tabel 2.1 adalah jenis dan spesifikasi mikrokontroler AVR.. [19]

Tabel 2.3 Jenis Dan Spesifikasi Mikrokontroler [19]

Mikrokontroler AVR		Memori		
Type	Jumlah PIN	Flash	EEPROM	SRAM
Tiny AVR (8 bit)	8 – 32	1 – 2K	64 – 128	0 – 128
AT90Sxx (8 bit)	20 – 44	1 – 8K	128 – 512	0 – 1K
ATmega (8 bit)	32 – 64	8 – 128K	512 – 4K	512 – 4K
AVR XMEGA (8/16 bit)	44 – 100	16 – 384K	512 – 4K	1K – 16K
AVR32 UC3 (32 bit)	48 – 144	16 – 512K	-	32K – 128K

Pada tabel 2.3 menjelaskan tentang jenis dan spesifikasi mikrokontroler AVR, pada perancangan alat yang penulis lakukan menggunakan mikrokontroler jenis ATmega, yang dikembangkan oleh arduino dengan IC (integrated circuit) ATmega 2560 dengan resolusi 10 bit, Mikrokontroler tersebut adalah Arduino Mega 2560.

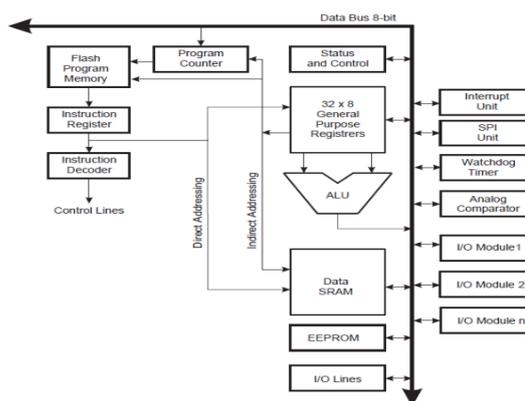
2.9.2 Fitur AVR ATmega328

ATmega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computer) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (Completed Instruction Set Computer).Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

- 130 macam instruksi yang hamper semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
- 32 x 8-bit register serba guna.
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 Mhz.

- 32 KB flash memory dan memiliki bootloader yang menggunakan 2KB dari flash memori sebagai bootloader.
- Memiliki EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sebesar 1 Kb sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena EEPROM.
- Memiliki SRAM(Static Random Access Memory) sebesar 2 KB.
- Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM(Pulse Width Modulation) output.

Mikrokontroler ATmega 328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan paralelis Instruksi – instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi – instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus clock. 32 x 8-bit register serba guna digunakan untuk mendukung operasi pada ALU(Arithmetic Logic unit) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. 6 dari register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung untuk mengambil data pada ruang memori data. Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31). Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit.Selain register serba guna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik memory mapped I/O selebar 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register control Timer/ Counter, Interupsi, ADC, USART,SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register – register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh [20].



Gambar 2.6 Skema AVR ATmega328

2.10 Sensor Getar

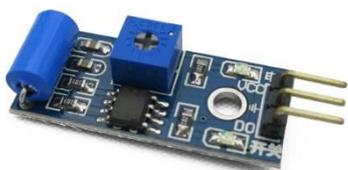
Merupakan salah satu sensor yang dapat mengukur getaran suatu benda yang nantinya dimana data tersebut akan diproses untuk kepentingan percobaan ataupun di gunakan untuk mengantisipasi sebuah kemungkinan adanya mara bahaya. Salah satu jenis sensor getaran yang saat ini sering di

gunakan adalah accelerometer, alat ini merupakan alat yang dapat berfungsi untuk mengukur percepatan dari sebuah benda. Percepatan tersebut di ukur bukan dengan menggunakan koordinat dari percepatan tersebut, melainkan dengan mengukur percepatan berdasarkan fenomena pergerakan benda yang di hubungkan dengan perubahan massa yang terjadi di dalam alat pengukur tersebut. Contohnya adalah sensor SW-420. [21]

2.9.2 Modul Sensor Getar SW 420

Modul sensor digital ini akan menghasilkan keluaran logika high pada saat mendeteksi getaran, dapat diaplikasikan pada sistem keamanan, deteksi gempa/getaran, pendeteksi malfungsi pada sistem mekanika, analisa struktur konstruksi berdasarkan vibrasi, pengukuran kekuatan tumbukan secara tidak langsung.

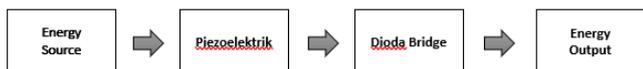
Inti dari modul ini adalah komponen pendeteksi getaran SW420 yang bereaksi terhadap getaran dari berbagai sudut. Pada kondisi statis/tanpa getaran, komponen elektronik ini berfungsi sebagai saklar yang berada pada kondisi menutup dan bersifat konduktif., sebaliknya pada kondisi terguncang saklar akan membuka/menutup dengan kecepatan pengalihan proporsional dengan kekerapan gangguan. [22]



Gambar 2.7 Modul Sensor Getar SW 420

3 Metodologi Penelitian

3.1 Blok Diagram Perancangan Penelitian



Gambar 3.1 Blok Diagram Perancangan Penelitian

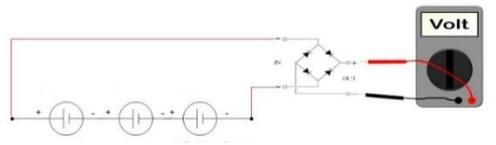
Blok Diagram Perancangan yang penulis buat ialah meliputi Energi Source (sumber energi) yakni dalam hal ini adalah getaran yang berasal dari motor yang melintasi desain alat yang dibuat oleh penulis, dapat dilihat pada gambar 3.3. Getaran yang dihasilkan oleh motor tersebut dideteksi oleh piezoelektrik yang dimana dari getaran tersebut akan diubah menjadi sumber energi listrik dengan keluaran AC (Alternating Current), oleh sebab itu penulis membutuhkan Dioda Bridge untuk mengubah sumber AC (Alternating Current) menjadi DC (Direct Current). Setelah itu sumber yang sudah berubah dari AC ke DC akan dideteksi oleh Multimeter untuk mengetahui berapa sumber energi listrik yang didapat.

3.2 Perancangan Rangkaian Keseluruhan

Pada penelitian ini penulis membuat perancangan rangkaian secara keseluruhan dengan 2 metode yaitu rangkaian serial

(gambar 3.2) dan rangkaian paralel (gambar 3.3). Metode ini diterapkan karena penulis ingin mengetahui perbedaan sumber listrik yang dihasilkan berdasarkan kedua metode rangkaian tersebut.

Gambar 3.2 Rangkaian Keseluruhan Seri

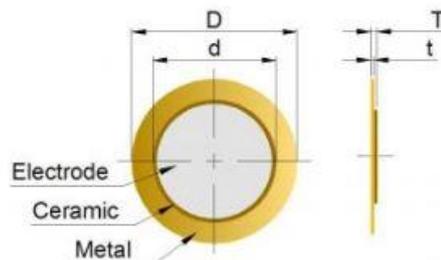


Gambar 3.3 Rangkaian Keseluruhan Paralel

3.2 Pemilihan Komponen Keseluruhan

3.2.1 Piezoelektrik

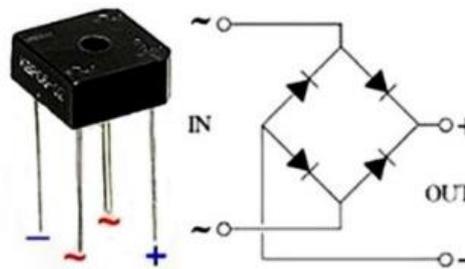
Pada penelitian ini piezoelektrik sebagai bahan utama yang digunakan untuk menghasilkan dan mendapatkan hasil yang akan penulis teliti yaitu daya listrik. Piezoelektrik yang digunakan pada penelitian ini adalah piezoelektrik elemen dengan diameter luar ukuran 27 mm dan diameter dalam ukuran 24 mm yang mudah didapat dan bisa dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Piezoelektrik [16]

3.2.2 Dioda Bridge

Diode bridge atau penyearah arus AC (Alternating Current) ke DC (Direct Current) sebagai komponen pendukung dari alat yang akan dibuat. Karena piezoelektrik menghasilkan keluaran AC (Alternating Current) maka dibutuhkan rangkaian penyearah ini untuk mengubah keluaran AC (Alternating Current) ke DC (Direct Current). Skematik rangkaian Dioda Bridge dapat di lihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skematik Dioda Bridge [17]

4 Temuan dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengolahan Data Yang Diukur

4.1.1 Hasil Pengukuran Voltase Pada Piezoelektrik Seri

Hasil pengujian piezoelektrik dirangkai secara seri dan didapat hasil ukur voltase dalam pengujian ini, dapat dilihat hasil pengujian pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Voltase Pada Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	Jumlah Piezoelektrik (Volt)			
			5	10	15	20
			Piezo	Piezo	Piezo	Piezo
146	5	22998	2.218	2.483	2.897	3.312
	10	29458	2.627	2.834	3.211	3.561
	15	35678	2.819	3.276	3.747	3.978
161	5	26676	2.423	2.756	3.124	3.526
	10	32148	2.764	2.976	3.512	3.856
	15	37396	2.923	3.347	3.815	4.236
186	5	28176	2.664	3.144	3.917	4.693
	10	33863	3.213	3.695	4.279	5.213
	15	39813	3.325	3.809	4.481	5.732

4.1.2 Hasil Pengukuran Voltase Pada Piezoelektrik Paralel

Hasil pengujian piezoelektrik dirangkai secara paralel dan didapat hasil ukur voltase dalam pengujian ini, dapat dilihat hasil pengujian pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Voltase Pada Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	Jumlah Piezoelektrik (Volt)			
			5	10	15	20
			Piezo	Piezo	Piezo	Piezo
146	5	22998	0.766	0.941	1.036	1.375
	10	29458	1.029	1.154	1.376	1.523
	15	35678	1.235	1.362	1.524	1.823
161	5	26676	0.932	1.021	1.241	1.532
	10	32148	1.121	1.275	1.567	1.768
	15	37396	1.301	1.489	1.756	1.985
186	5	28176	1.005	1.352	1.463	1.638
	10	33863	1.164	1.442	1.843	2.025
	15	39813	1.447	1.594	2.267	2.431

4.1.3 Hasil Pengukuran Arus Pada Piezoelektrik Seri

Hasil pengujian piezoelektrik dirangkai secara seri dan didapat hasil ukur ampere dalam pengujian ini, dapat dilihat hasil pengujian pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Pada Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	Jumlah Piezoelektrik (µA)			
			5	10	15	20
			Piezo	Piezo	Piezo	Piezo
146	5	22998	0.9	1.9	2.4	2.8
	10	29458	1.2	2	2.7	2.9
	15	35678	1.7	2.5	2.8	3.1
161	5	26676	1.3	2.4	2.8	3.0
	10	32148	1.7	2.7	3.0	3.1
	15	37396	2	2.7	3.0	3.3
186	5	28176	2	2.8	2.9	3.1
	10	33863	2.1	2.9	3.1	3.2
	15	39813	2.3	3.1	3.2	3.4

4.1.4 Hasil Pengukuran Arus Pada Piezoelektrik Paralel

Hasil pengujian piezoelektrik dirangkai secara paralel dan didapat hasil ukur ampere dalam pengujian ini, dapat dilihat hasil pengujian pada tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Arus Pada Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	Jumlah Piezoelektrik (µA)			
			5	10	15	20
			Piezo	Piezo	Piezo	Piezo
146	5	22998	15.9	16.5	17.4	21.5
	10	29458	17.3	18.1	18.7	22
	15	35678	17.7	19	20.5	23.1
161	5	26676	16.1	17.4	18.3	22.1
	10	32148	17.3	18.2	19.1	23.5
	15	37396	18.1	19.3	21	24
186	5	28176	16.3	17.9	20.9	24.5
	10	33863	17.4	18.4	21.8	24.8
	15	39813	18.3	19.4	22.4	25.3

4.1.4 Hasil Penghitungan Daya Listrik Piezoelektrik

Penghitungan daya listrik pada piezoelektrik dilakukan untuk mengetahui berapa daya listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik ketika tegangan dan arus telah diketahui. Penghitungan daya dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$P = I x v$$

Dimana : P = Daya listrik (watt)

I = Arus Listrik (A)

v = Tegangan listrik (volt)

4.1.4.1 Hasil Penghitungan Daya Listrik 5 Piezoelektrik Seri

Penghitungan daya untuk 5 piezoelektrik dengan rangkaian seri dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Penghitungan Hasil Daya 5 Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	5 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	2.218	0.9	1.9962
	10	29458	2.617	1.2	3.1404
	15	35678	2.819	1.7	4.7923
161	5	26676	2.423	1.3	3.1499
	10	32148	2.764	1.7	4.6988
	15	37396	2.923	2	5.846
186	5	28176	2.664	2	5.328
	10	33863	3.213	2.1	6.7473
	15	39813	3.325	2.3	7.6475

4.1.4.2 Hasil Penghitungan Daya Listrik 10 Piezoelektrik Seri

Penghitungan daya untuk 10 piezoelektrik dengan rangkaian seri dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Penghitungan Hasil Daya 10 Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	10 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	2.483	1.9	4.7177
	10	29458	2.834	2	5.668
	15	35678	3.276	2.5	8.19
161	5	26676	2.756	2.4	6.6144
	10	32148	2.976	2.7	8.0352
	15	37396	3.347	2.7	9.0369
186	5	28176	3.144	2.8	8.8032
	10	33863	3.695	2.9	10.7155
	15	39813	3.809	3.1	11.8079

4.1.4.3 Hasil Penghitungan Daya Listrik 15 Piezoelektrik Seri

Penghitungan daya untuk 15 piezoelektrik dengan rangkaian seri dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Penghitungan Hasil Daya 15 Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	15 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	2.897	2.4	6.9528
	10	29458	3.211	2.7	8.6697
	15	35678	3.747	2.8	10.4916
161	5	26676	3.124	2.8	8.7472
	10	32148	3.512	3.0	10.536
	15	37396	3.815	3.0	11.445
186	5	28176	3.917	2.9	11.3593
	10	33863	4.279	3.1	13.2649
	15	39813	4.481	3.2	14.3392

4.1.4.4 Hasil Penghitungan Daya Listrik 20 Piezoelektrik Seri

Penghitungan daya untuk 20 piezoelektrik dengan rangkaian seri dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Penghitungan Hasil Daya 20 Piezoelektrik Seri

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	20 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	3.312	2.8	9.2736
	10	29458	3.561	2.9	10.3269
	15	35678	3.978	3.1	12.3318
161	5	26676	3.526	3.0	10.578
	10	32148	3.856	3.1	11.9536
	15	37396	4.236	3.3	13.9788
186	5	28176	4.693	3.1	14.5483
	10	33863	5.213	3.2	16.6816
	15	39813	5.732	3.4	19.4888

4.1.4.5 Hasil Penghitungan Daya Listrik 5 Piezoelektrik Paralel

Penghitungan daya untuk 5 piezoelektrik dengan rangkaian paralel dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Penghitungan Hasil Daya 5 Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	5 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	0.766	15.9	12.1794
	10	29458	1.029	17.3	17.8017
	15	35678	1.235	17.7	21.8595
161	5	26676	0.932	16.1	15.0052
	10	32148	1.121	17.3	19.3933
	15	37396	1.301	18.1	23.5481
186	5	28176	1.005	16.3	16.3815
	10	33863	1.164	17.4	20.2536
	15	39813	1.447	18.3	26.4801

4.1.4.6 Hasil Penghitungan Daya Listrik 10 Piezoelektrik Paralel

Penghitungan daya untuk 10 piezoelektrik dengan rangkaian paralel dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Penghitungan Hasil Daya 10 Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	10 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	0.941	16.5	15.5265
	10	29458	1.154	18.1	20.8874
	15	35678	1.362	19	25.878
161	5	26676	1.021	17.4	17.7654
	10	32148	1.275	18.2	23.205
	15	37396	1.489	19.3	28.7377
186	5	28176	1.352	17.9	24.2008
	10	33863	1.442	18.4	26.5328
	15	39813	1.594	19.4	30.9236

4.1.4.7 Hasil Penghitungan Daya Listrik 15 Piezoelektrik Paralel

Penghitungan daya untuk 15 piezoelektrik dengan rangkaian paralel dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Penghitungan Hasil Daya 15 Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	15 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	1.036	17.4	18.0264
	10	29458	1.376	18.7	25.7312
	15	35678	1.524	20.5	31.242
161	5	26676	1.241	18.3	22.7103
	10	32148	1.567	19.1	29.9297
	15	37396	1.756	21	36.876
186	5	28176	1.463	20.9	30.5767
	10	33863	1.843	21.8	40.1774
	15	39813	2.267	22.4	50.7808

4.1.4.7 Hasil Penghitungan Daya Listrik 20 Piezoelektrik Paralel

Penghitungan daya untuk 20 piezoelektrik dengan rangkaian paralel dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Penghitungan Hasil Daya 20 Piezoelektrik Paralel

Beban (Kg)	Kecepatan (Km/Jam)	Getaran (Hertz)	20 Piezoelektrik		
			Volt (V)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
146	5	22998	1.375	21.5	29.5625
	10	29458	1.523	22	33.506
	15	35678	1.823	23.1	42.1113
161	5	26676	1.532	22.1	33.8572
	10	32148	1.768	23.5	41.548
	15	37396	1.985	24	47.64
186	5	28176	1.638	24.5	40.131
	10	33863	2.025	24.8	50.22
	15	39813	2.431	25.3	61.5043

5 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pemanfaatan beban mekanis sebagai energi alternatif. Maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai daya listrik didapat berdasarkan getaran yang ditimbulkan akibat gaya suatu kendaraan sepeda motor dengan kecepatan yang telah ditentukan. Nilai suatu daya dapat dilihat pada tabel 4.3 untuk 5 piezo susun seri, tabel 4.4 untuk 10 piezo susun seri, tabel 4.5 untuk 15 piezo susun seri, tabel 4.6 untuk 20 piezo susun seri, dan tabel 4.7 untuk 5 piezo susun paralel, 4.8 untuk 10 piezo susun paralel, 4.9 untuk 15 piezo susun paralel, 4.10 untuk 20 piezo susun paralel.
2. Nilai daya dikatakan optimal dapat dilihat dari beberapa faktor seperti, jumlah dari piezoelektrik yang digunakan, beban dengan kecepatan yang mengakibatkan terjadinya suatu getaran dan cara merangkai suatu piezoelektrik. Daya maksimal yang dihasilkan oleh rangkaian seri sebesar 19.4888 μ W dan rangkaian paralel sebesar 61.5043 μ W. sebagai perbandingan nilai suatu daya pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.19 dan 4.22

Penghargaan

Terima Kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini

Kepustakaan

- [1] 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," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015*, 2015.
- [2] R. Maulana, "Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Pada Sepatu," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2016.
- [3] F. R. Witjaksono, "Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Monorail Sebagai Sumber Energi Listrik Di Pelabuhan," Institusi Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [4] A. A. Vives, *Piezoelectric Transducers and Applications*, 2 ed., Valencia: Springer, 2008, pp. 7-8.
- [5] K. Nakamura, *Ultrasonic Transducers*, Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, pp. 13-17.
- [6] A. A. Vives, *Piezoelectric Transducers and Applications*, 2 ed., Valencia, 2008, pp. 2-3.
- [7] P. Spesies, L. Mateu and M. Pollak, *Handbook of Energy Harvesting Power Supplies and Applications*, Florida: Pan Stanford Publishing, 2013, p. 115.
- [8] K. Nakamura, *Ultrasonic Transducers*, Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, pp. 20-21.
- [9] Wahyudi, Hidayatullah, M. Syukri and S. , "KITEKTRO," *Perancangan Prototype Penghasil Energi Listrik Berbahan Dasar Piezoelektrik*, vol. 1, no. 3, pp. 63-67, 2016.
- [10] A. N. Krisdianto. SB, "Studi Karakteristik Energi Yang Dihasilkan Mekanisme Vibration Energy Harvesting Dengan Metode Piezoelectric Untuk Pembebanan Frontal Dan Lateral," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011.
- [11] E. D. Gates, *Introduction to Electronics*, 5 ed., New York, 2007, pp. 250-252.
- [12] Wahyudi. "Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi," *Analisis Hasil Belajar Mahasiswa Pada Pokok Bahasan Hukum Ohm dan Kirchoff Dalam Mata Kuliah Elektronika Dasar 1*, vol. 1, no. 2, pp. 129-135, 2015.
- [13] T. Rokhman, "Analisis Getaran Pada Footrest Sepeda Motor Tipe Matic dan Non-Matic," [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/98347-ID-none.pdf>. [Accessed 25 Juli 2018].
- [14] "Getaran Mekanis," [Online]. Available: <https://finahari.files.wordpress.com/2016/11/bab-19-getaran-mekanis.pdf>. [Accessed 25 Juli 2018].
- [15] "BAB I. TEORI DASAR GETARAN (VIBRASI)," [Online]. Available: http://www.academia.edu/14322189/BAB_I._TEORI_DASAR_GETARAN_VIBRASI_I.1_Difinisi_Getaran_Vibrasi. [Accessed 10 Juli 2018].
- [16] "Elemen Piezoelektrik Disk," [Online]. Available: <http://id.pztpiezo.com/piezo-diaphragm/external-drive-piezo-diaphragm/piezoelectric-element-disk.html>. [Accessed 16 Juli 2018].
- [17] "Pengertian, Fungsi, dan Cara Mengukur Dioda Bridge," [Online]. Available: <http://belajarelektronika.net/pengertian-fungsi-dan-cara-mengukur-dioda-bridge/>. [Accessed 16 Juli 2018].
- [18] "Atmel Atmega 640 [Datasheet]," 2014. [Online]. [Accessed 28 Agustus 2018].
- [19] S. Nurcahyo, in *AVR ATMEL Object Oriented Programming*, Yogyakarta, Andi, 2013.
- [20] "Arduino Datasheet," Atmel Cooperation, 2015. [Online]. [Accessed 28 Agustus 2018].
- [21] "BAB II TINJAUAN PUSTAKA," [Online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/2107/3/BAB%202.pdf>. [Accessed 28 Agustus 2018].
- [22] N. Fauziyyah, "Sistem Pendeteksi Getaran Gempa Menggunakan Arduino Uno Dan Vibration Sensor Dengan Software Matlab," Politeknik Negeri Balikpapan, Balikpapan, 2017.