

PERANCANGAN SISTEM DAN MONITORING SUMBER ARUS LISTRIK DARI LANTAI *PIEZOELECTRIC* UNTUK PENGISIAN BATERAI

System Design And Monitoring Current Power Generated by Piezoelectric Floor for Battery Charging

Fahad Hermawan Widodo¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si, M.Si², Ahmad Qurthobi, S.T., M.T.³

¹Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fahadwidodo@students.telkomuniversity.ac.id, ²mramdhanikirom@telkomuniversity.co.id,

³qurtobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dengan semakin menipisnya energi fosil di bumi dan sifatnya yang tak terbarukan. Para manusia mencoba menciptakan alat pemanen energi (*energy harvester*). Sistem pemanenan energi salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan bahan *piezoelectric* PZT (*lead zirconate titanate*) yang mampu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dalam penelitian kali ini pijakan kaki manusia pada lantai yang sudah terpasang *piezoelectric* dibawahnya menjadi input energi mekanik untuk mendapatkan energi listrik dari lantai. Banyaknya energi listrik yang dapat dihasilkan lantai *piezoelectric* berbanding lurus dengan besar gaya yang diberikan pada lantai *piezoelectric*. Arus tertinggi yang didapatkan dari lantai yang dibuat akibat gaya mekanik yakni 938 mikro ampere dan arus terendah 464 mikro ampere. Sedangkan tegangan tertinggi yang didapat yakni 80 volt dan terendah 61 volt. Pemanfaatan energi dapat dilakukan dengan menampung hasil energi kedalam sebuah baterai sekunder(recharge) dengan memperhatikan kapasitas baterai dan intensitas peninjakan.

Kata kunci : *piezoelectric*, PZT, mikrokontroler, baterai

Abstract

With the depletion of fossil energy on Earth and it is nonrenewable. The man tried to create a device of energy harvesters (*energy harvester*). Energy harvesting systems one of which can be done by using a piezoelectric material PZT (*lead zirconate titanate*) is capable of converting mechanical energy into electrical energy. In this study human foothold on the floor below which is mounted piezoelectric into mechanical energy input to obtain electrical energy from the floor. The amount of electrical energy that can be generated is proportional to the piezoelectric floor large force applied to the piezoelectric floor. The highest flow obtained from the floor were made as a result of the mechanical force that is 938 micro-amperes and the lowest current 464 micro-amperes. While the highest voltage obtained the lowest 80 volt and 61 volt. Energy utilization can be done to accommodate the results of energy into a secondary battery (recharge) with respect battery capacity and foot step intensity.

Keywords: *piezoelectric*, PZT, microcontroller, battery

1. Pendahuluan

Energi merupakan hal pokok yang menopang kehidupan manusia di dunia. Motivasi manusia dalam pencarian energi baru didorong oleh situasi global yang mengindikasikan cadangan energi fosil di bumi semakin menipis karena sifatnya yang tak terbarukan. Sebagai alternatif keterbatasan energi fosil, manusia mencoba menciptakan suatu alat pemanen energi (*energy harvesting*). *Piezoelectric* dapat diaplikasikan untuk pemanen energi dengan memanfaatkan energi kinetik karena sifat bahan *piezoelectric* yang dapat mengubah kinetik menjadi listrik. Dalam penelitian kali ini penulisan membuat lantai yang terpasang bahan *piezoelectric* dibawahnya untuk mengetahui dan memanfaatkan energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh lantai *piezoelectric* akibat energi kinetik yang diberi yakni dengan pijakan kaki manusia di atasnya. Pada penelitian kali ini juga menekankan bagaimana memilih komponen yang tepat agar dapat memaksimalkan arus yang dihasilkan oleh lantai *piezoelectric* untuk pengisian baterai.

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan dari Tugas Akhir yang dibuat dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh gaya berat terhadap arus dan tegangan listrik yang dihasilkan lantai *piezoelectric*.
2. Dapat memanfaatkan arus listrik yang dihasilkan lantai *piezoelectric* untuk pengisian baterai.
3. Dapat menampilkan tegangan baterai setelah pengisian pada sebuah LCD.

Mengingat luasnya pembahasan, maka permasalahan dalam Tugas Akhir ini akan dibatasi pada :

1. Piezoelectric yang digunakan adalah piezoelectric disc dengan diameter 5cm.
2. Piezoelectric yang dipakai sebanyak 40 buah dan dirangkai secara paralel.
3. Pengujian lantai piezoelectric yaitu dengan pijakan orang berjalan biasa di atasnya.
4. Ukuran lantai yang digunakan 30cm x 30cm dengan penempatan piezoelectric berada ditengah (3cm dari sisi kiri, kanan, atas dan bawah).

Dengan penelitian yang telah dilakukan, maka diharapkan akan diperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Alat dapat berguna sebagai penghasil energi listrik alternatif, dan sekaligus dapat mengatasi permasalahan sumber tenaga listrik.

2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1 Piezoelectric

Piezoelectric merupakan sebuah material (kristal batuan, keramik, dan polimer) yang memiliki kemampuan untuk membangkitkan potensial listrik sebagai respon dari tekanan mekanik yang diberikan pada material. Contoh-contoh material *piezoelectric* antara lain :

1. Kristal kuarsa (SiO₂)
2. Polyvinylidene Difluoride (PVDF)
3. Amonium Dihidrogen Fosfat (ADF)
4. Barium Titanate (BaTiO₃)
5. Lead Zirconate Titanate (PZT), dan lain-lain [7,14]

Efek *piezoelectric* adalah kemampuan dari suatu material untuk bergetar ketika diberikan tegangan pada material tersebut dan sebaliknya, apabila material tersebut diberi tekanan maka material tersebut akan menghasilkan tegangan. Efek *piezoelectric* terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipol yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut dikenal dengan electrostriction.

Besarnya konsentrasi muatan listrik yang terbentuk dari efek *piezoelectric* dapat dinyatakan dalam dua mode, yaitu *charge mode* dan *voltage mode*. Tegangan dan Arus yang dihasilkan *piezoelectric* berbanding lurus dengan gaya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan luas penampang bidang. Perhitungan dilihat pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 [6]:

$$Q = d_{33} F \quad (2.1)$$

dimana : Q : Muatan arus (Ampere.s)
F : Gaya (N)
d₃₃ : Konstanta charge *piezoelectric* (pC/N)

$$V = \frac{t F}{A} \quad (2.2)$$

dimana : V : Tegangan keluaran *piezoelectric* (volt)
T : Tinggi atau ketebalan *piezoelectric* (mm)
F : Gaya (N)

g₃₃ : Konstanta tegangan *piezoelectric* (mV.m/N)

A : Luas *piezoelectric* (m²)

Nilai dari sensitivitas tegangan dan muatan materi *piezoelectric* direpresentasikan dalam tabel dibawah:

Sifat Bahan Piezoelektrik Keramik			
	Power Transducers	Sensors	Actuators
Relative permittivity (ε _r) (T/)	1000 - 1300	1500 - 1850	1800 - 3800
Loss factor (tan δ)	0.002 - 0.003	0.012 - 0.02	0.015 - 0.016
Frequency constant (Np) (Khz.mm)	2210 - 2280	2020 - 2050	1960 - 2010
Coupling factor (kp)	0.55 - 0.57	0.59 - 0.62	0.65
Charge constant (d ₃₃) (pC/N)	240 - 310	390 - 450	475 - 680
Voltage constant (g ₃₃) (mV.m/N)	26.9 - 27.1	26.9 - 33.1	20.2 - 28.5
Elastic compliance (1/E) (/N)	11.4 - 14.9	16.3 - 18.5	15.8 - 17.9
Elastic stiffness (E) (N/)	15.9 - 16.2	14.5 - 15.8	14.7 - 15.2
Density (g/)	7.65 - 7.7	7.65 - 7.8	7.7 - 7.83
Quality (Q) ()	500 - 1000	60 - 90	75 - 80
Aging rate () (%)	-4.5 to -3	-2.3 to -0.3	-1.6 to -0.8

Gambar 2.3 Konstanta *piezoelectric* keramik [6]

2.2 Filter

Filter dalam bidang elektronika adalah suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengambil atau melewati tegangan output pada frekuensi tertentu yang diinginkan dan untuk melemahkan atau membuang ke *ground* tegangan *output* pada frekuensi tertentu yang tidak diinginkan. Filter dalam elektronika dibagi dalam dua kelompok yaitu filter pasif dan filter aktif. Untuk membuat suatu filter pasif dapat digunakan komponen pasif (R, L, C). Sedangkan untuk membuat filter aktif diperlukan rangkaian (R, L, C dan transistor atau Op-Amp). Pada dasarnya filter pasif dapat dikelompokkan berdasarkan respon frekuensi yang di filter menjadi 4 kelompok :

- Filter Lolos Bawah (*Low Pass Filter*, LPF)
- Filter Lolos Atas (*High Pass Filter*, HPF)
- Filter Lolos Rentang (*Band Pass Filter*, BPF)
- Filter Tolak Rentang (*Band Stop Filter* atau *Notch Filter*)

Frekuensi *cut off* dari *low pass filter* RC dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

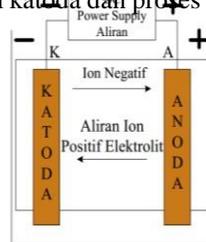
$$f_c = \frac{1}{\pi RC} \tag{2.5}$$

2.3 Baterai

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversible* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

2.3.1 Prinsip kerja pengisian baterai

Pada proses pengisian baterai yaitu bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

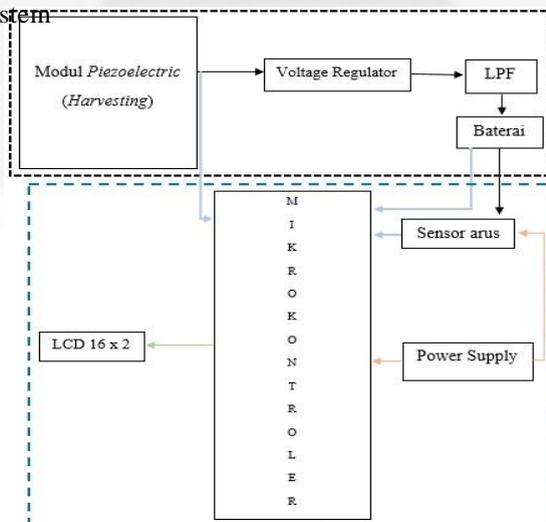


Gambar 2.1 Proses Pengisian Baterai

- Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda.
- Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda.
- Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda.

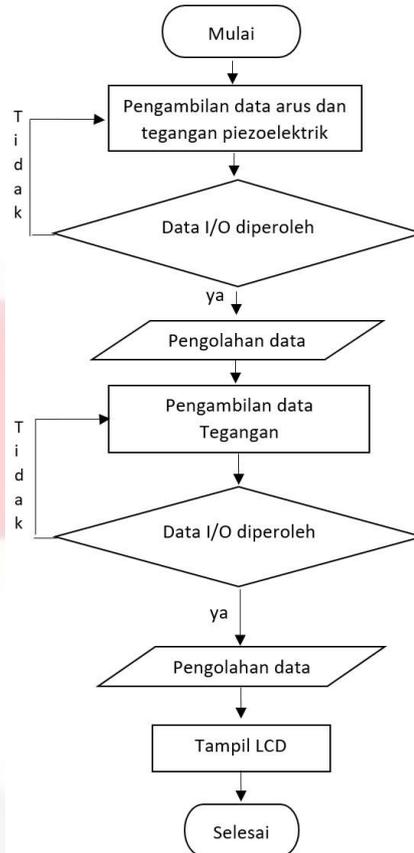
3. Metode Penelitian

3.1 Gambaran Umum Sistem



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Flowchart dibawah ini menunjukkan alur diagram program yang akan dibuat.

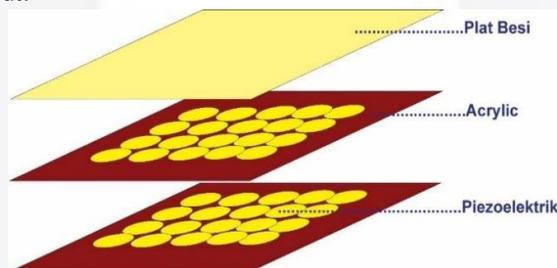


Gambar 3.9 Flowchart program mikrokontroller

3.2 Perancangan Perangkat keras

3.2.1 Modul Piezoelectric (Harvesting)

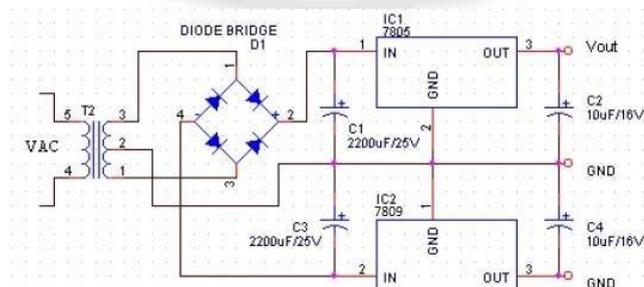
Modul yang dirancang merupakan perbaikan dari alat yang pernah dibuat. Dengan ditambahkan beberapa komponen dan memodifikasi pada susunan sistem dengan tujuan untuk memperbaiki dan menyempurnakan alat tersebut.



Gambar 3.2 Konstruksi Modul Piezoelectric

3.2.1 Rangkaian Power Supply

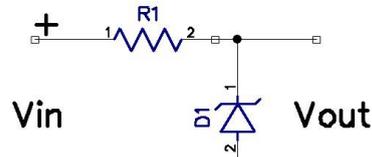
Perancangan rangkaian catu daya pada alat ini menggunakan rangkaian dengan tegangan keluaran yaitu +5 Volt DC dan 9 Volt DC, yang kedua keluaran tersebut mencatu ke bagian mikrokontroller dan rangkaian tambahan lainnya. Untuk menghasilkan catuan kedua tegangan tersebut, digunakan IC regulator LM 7805 dan LM 7809.



Gambar 3.4 Rangkaian power supply

3.2.2 Pembatas Tegangan

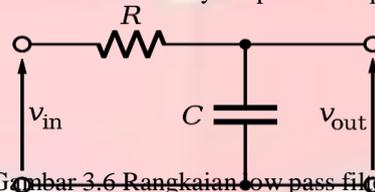
Dioda zener disini berfungsi menjaga tegangan pada level 5 Volt. Dioda zener dipasang paralel dengan input. Dengan cara ini maka tegangan output akan tetap stabil meski tegangan input berubah-ubah.



Gambar 3.5 Rangkaian dioda zener

3.2.3 Rangkaian Filter

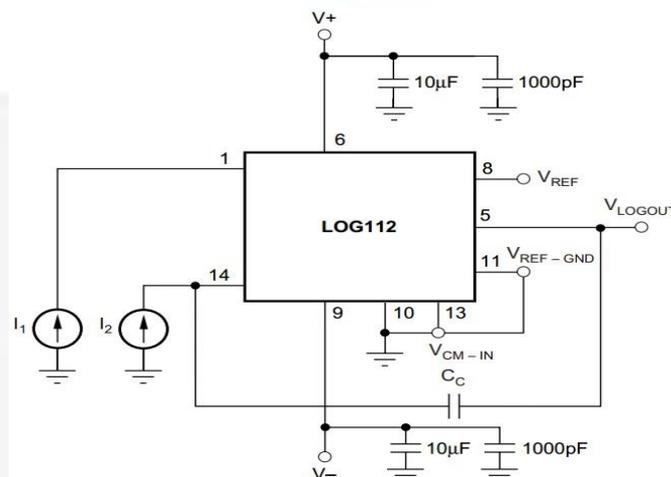
Rangkaian low pass filter RC dan karakteristiknya dapat dilihat pada gambar 3.6 :



Gambar 3.6 Rangkaian low pass filter

3.2.4 Sensor Arus

Rangkaian pembaca arus yang digunakan yaitu dengan IC LOG112 dan rangkaian tambahan *default* dari LOG112.



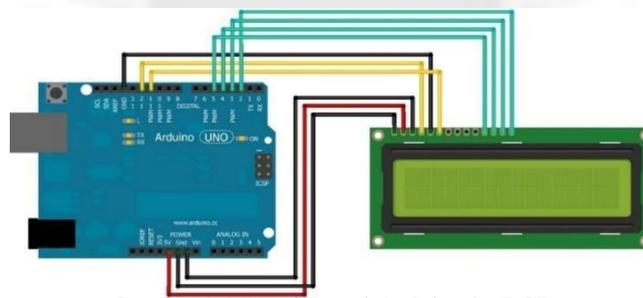
Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Arus menggunakan IC Log112

3.2.5 Mikrokontroler

Untuk keperluan penelitian ini, dipilih Arduino dengan tipe Arduino Uno R3. Arduino tersebut memiliki fitur *onboard serial-to-usb converter*. Dengan demikian data serial bisa dikirim dan dibaca melalui port usb (tanpa melalui port RS232). Fitur tersebut sangat membantu penelitian ini, mengingat transmisi data yang digunakan pada penelitian ini adalah transmisi serial.

3.2.6 Display

Pada perancangan kali ini digunakan LCD 16 x 2 Untuk menampilkan hasil dari data yang telah diolah dalam mikrokontroler, yaitu data tegangan pada baterai dan tegangan dari modul *piezoelectric*.



Gambar 3.8 Konfigurasi Arduino ke LCD

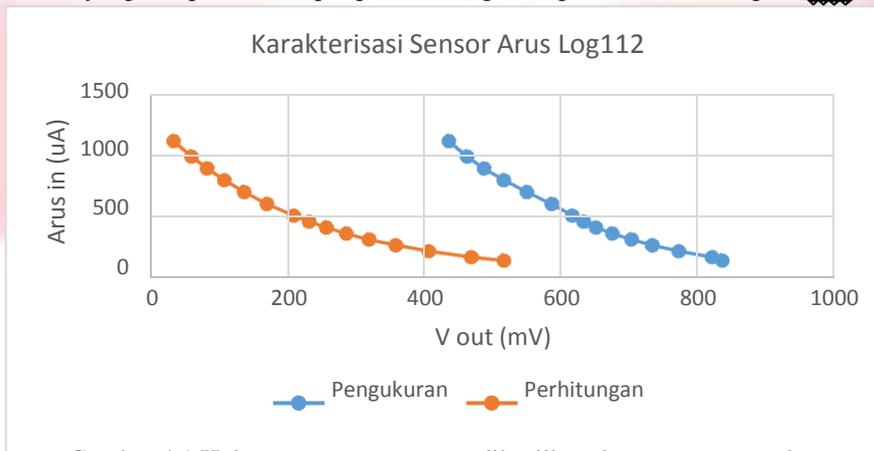
4. Pengujian Sistem Dan Analisis

Pengujian dan analisis sistem meliputi dua macam yaitu pengujian rangkaian pembaca arus dan pengujian sistem *piezoelectric* yang telah dibuat. Pada pengujian sistem *piezoelectric* dilakukan 3 tahap, tahap pertama pengujian 1 buah *piezoelectric*, kemudian tahap kedua pengujian 40 *piezoelectric* dirangkai secara paralel, kemudian pengujian terakhir yaitu pengujian untuk pengisian baterai.

4.1 Pengujian Rangkaian Pembaca Arus

Pada pengujian pembaca arus dilakukan pengambilan data dari rangkaian sensor arus yang telah dibuat. Rangkaian tersebut berfungsi untuk membaca arus yang dihasilkan *piezoelectric* setelah melalui *rectifier*.

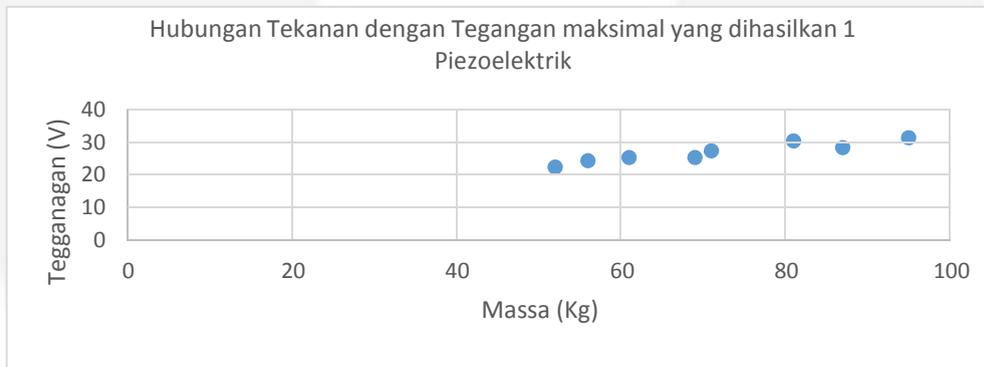
Berikut data yang didapatkan dari pengukuran rangkaian pembaca arus dengan $I_{max} = 1300 \mu A$



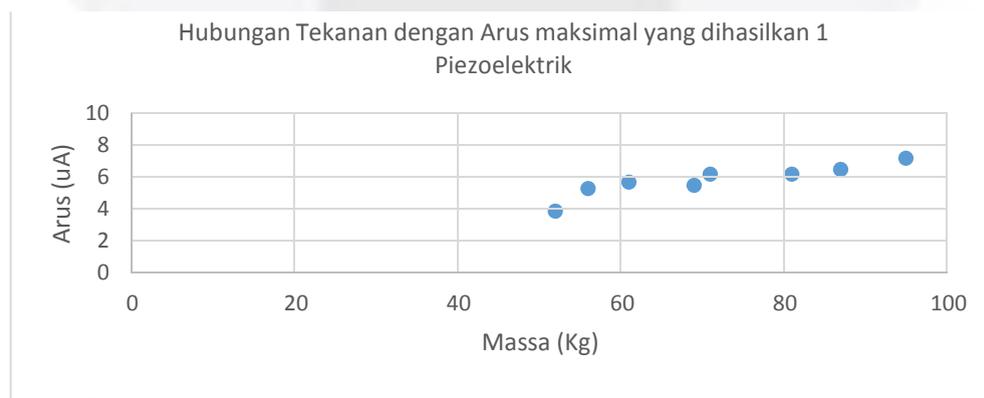
Gambar 4.1 Hubungan tegangan yang dihasilkan dengan arus masukan

4.2 Pengujian 1 buah elemen *piezoelectric*

Berikut adalah hasil pengukuran nilai tegangan dan arus yang dihasilkan dari 1 buah *piezoelectric* yang terpasang dilantai :

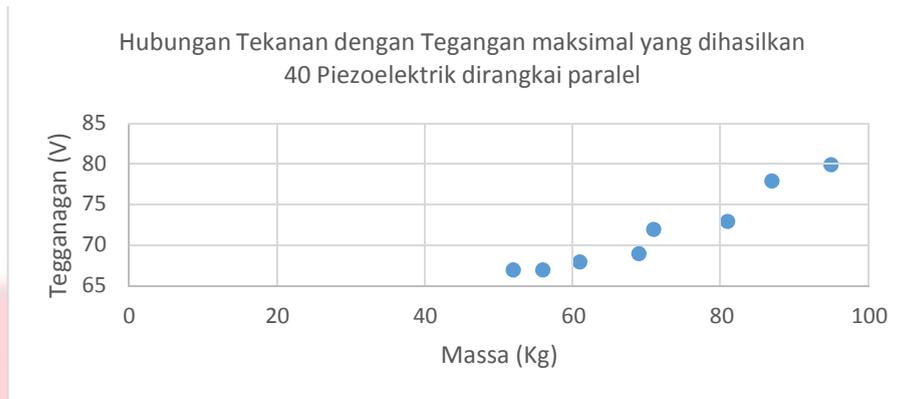


Gambar 4.3 Hubungan nilai tegangan yang dihasilkan oleh 1 *piezoelectric* dengan variasi beban penjinak

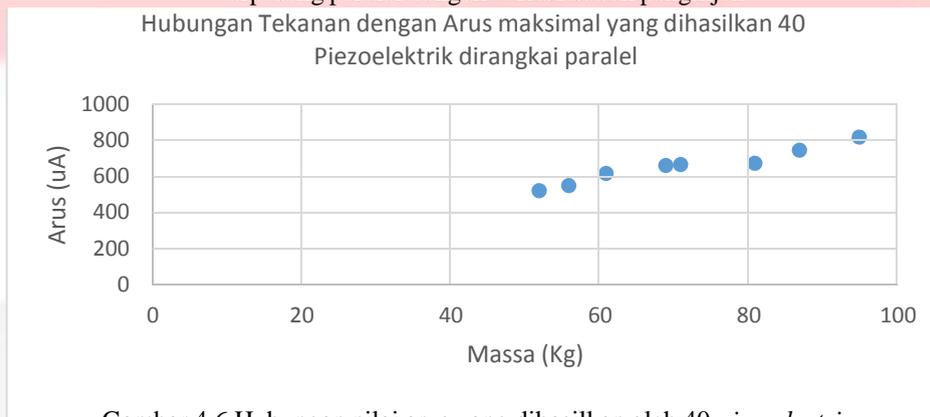


Gambar 4.4 Hubungan nilai arus yang dihasilkan oleh 1 *piezoelectric* dengan variasi beban penjinak

4.3 Pengujian 40 Piezoelectric Secara Paralel

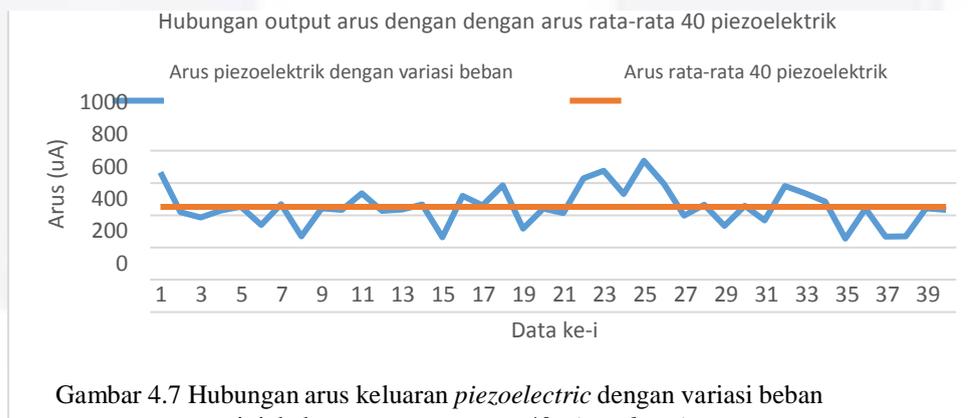


Gambar 4.5 Hubungan nilai tegangan yang dihasilkan oleh 40 piezoelectric terpasang paralel dengan variasi beban penguinjak



Gambar 4.6 Hubungan nilai arus yang dihasilkan oleh 40 piezoelectric terpasang paralel dengan variasi beban penguinjak

4.4 Pengujian Pengisian Baterai



Gambar 4.7 Hubungan arus keluaran piezoelectric dengan variasi beban penguinjak dengan arus rata-rata 40 piezoelectric

Grafik menunjukkan arus yang dihasilkan oleh lantai piezoelectric dengan dengan rata-rata arus yang didapatkan yaitu 938 mikro ampere.

Setelah kita mengetahui rata-rata arus yang didapatkan maka kita dapat menghitung muatan yang dihasilkan oleh lantai piezoelectric untuk pemanfaatan pengisian baterai:

$$\begin{aligned}
 \text{Arus} &= 938 \\
 &= 938 \mu\text{A} \\
 \text{Muatan listrik (permenit)} &= 938 \mu\text{A} \times 60 \text{ s} \\
 &= 56280 \\
 &= 0,05628 \text{ C}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan muatan listrik yang dapat dihasilkan oleh lantai *piezoelectric* yaitu 0,05628 *Coulomb* dalam satu menit. Sedangkan untuk pengisian baterai dengan arus rata-rata yang dihasilkan yaitu:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mAh} &= 1000 \mu\text{Ah} \\ &= \frac{1000 \mu\text{Ah}}{938 \mu\text{A}} \\ &= 1,066 \text{ jam} \end{aligned}$$

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa untuk mengecras baterai dengan kapasitas 1 mAh dibutuhkan waktu selama 1,066 jam dengan kondisi arus kontinyu.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan hingga analisa data yang telah didapatkan, dapat disimpulkan Arus dan tegangan listrik yang dihasilkan lantai *piezoelectric* berbanding lurus dengan besar gaya yang diberikan. Arus tertinggi yang didapatkan yakni 938 mikro ampere dan arus terendah 641 mikro ampere. Sedangkan tegangan tertinggi yang didapatkan yaitu 80 volt dan terendah 67 volt. Pemanfaatan arus dan tegangan listrik dari *piezoelectric* dengan arus yang kecil dan tegangan yang besar untuk pengisian baterai dapat dilakukan dengan mambatasi tegangan keluaran *piezoelectric* memakai regulator tegangan sesuai dengan kapasitas baterai yang dipakai. Hal ini berakibat pada lamanya pengisian baterai karena arus yang kecil dan dipotong oleh regulator. Maka semakin besar pemotongan tegangan akan semakin besar arus yang dibuang. Selain itu frekuensi pijakan pada lantai *piezoelectric* berpengaruh pada pengisian baterai. Semakin tinggi frekuensi maka arus yang dihasilkan akan stabil dan semakin cepat pengisian baterai. Monitoring arus dan tegangan listrik yang dihasilkan *piezoelectric* dapat dilakukan, namun untuk monitoring perubahan kapsitas baterai tidak dapat dilakukan, hal ini dikarenakan perubahan kapsitas baterai yang sangat kecil dan membutuhkan waktu yang lama untuk pengisian dengan arus orde mikro ampere, sedangkan pada mikrokontroller hanya dapat memproses dengan minimal perubahan yaitu 4 mV.

Daftar Pustaka

- [1] S. P. Beeby, M. J. Tudor, and N. M. White, "Energy harvesting vibration sources for microsystems applications" *Measurement Science and Technology*, vol. 17, pp. R175–R195, 2006.
- [2] Pemakaian Listrik Tumbuh Signifikan, (16 juni-2014), <http://www.pln.co.id/>
- [3] G. Ye, J. Yan, Z. J. Wong, K. Soga, and A. Seshia, "Optimisation of a piezoelectric system for energy harvesting from traffic vibrations," in Proceedings of the IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS '09), pp. 759–762, Rome, Italy, September 2009.
- [4] R. Prabakaran, A. Jayaramaprakash, L. V. Anand, "Power harvesting by using human foot step" *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 2, Issue 7, July 2013
- [5] J. Curie, P. Curie, "Développement, par pression, de l'électricité polaire dans les cristaux hémihèdres à faces inclinées", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 91 (1880) 294–5.
- [6] Uchino, K. "Piezoelectric Ceramics" in *Handbook of Advanced Ceramics*, ed. S. Somiya, Elsevier Academic Press Vol. I., 107-118 (2003).
- [7] Ledoux, Antonie, "Theory of piezoelectric materials and their applications in civil engineering", (2011), 8-9
- [8] Yang, Jiashi, "An Introduction To The Theory of Piezoelectricity", Springer Science+Business Media Inc., Boston. 2005.
- [9] Tichi, Jan, "Fundamental of Piezoelectric Sensorics", Springer Science+Business Media Inc., Boston. 2010.
- [10] B. A. Putri, (2014). "Design And Implementation Floor Of Electrical Energy-Producing Of Power Footing Base On Piezoelectric". Bandung: Teknik Elektro Universitas Telkom
- [11] F. Vittorio, "piezoelectric for vibration energy harvesting", summer school : energy harvesting at micro and nanoscale, Dip. Ingegneria dell'infomation Bresca university. Italy, Augt. 1-6, 2010
- [12] D. Jovan, "Center Of Mass And Center Of Gravitation", retired UNM professor Balkanska 28, 11000 Belgrade. Serbia
- [13] L. Antoine, "Theory of piezoelectric materials and their applications in civil engineering", Massachussets Institute Of Technology, Juni ,2011
- [14] Piezo system, Inc. "Introduction to piezoelectric", Piezoceramics application data, catalog#8, 2011. www.piezo.com
- [15] F.Najmabadi, "Introduction to diodes", ECE65, Winter, 2012
- [16] Texas Instrument. 2005. "Precision LOGARITHMIC AND LOG RATIO AMPLIFIERS". Available: www.ti.com/lit/gpn/LOG2112.