

Rancang Bangun Sistem Pemanen Energi di Lantai Menggunakan Modul BQ25570 pada Aplikasi *Piezoelectric Energy Harvesting*

Rifki Abi Setiawan^{1*}, Syaiful Alam¹, Umi Murdika¹, Sumadi¹
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Email: rifkiabi09@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.8926>

ABSTRACT

Energy harvesting is a process whereby energy produced is derived from an external. As for external sources consisting of sunlight, sound, the wind, vibrations, the press, and others. One potential that could be used the style press derived from a footrest man while walking. The device that can be used to harvest energy by using the style press is piezoelectric. Piezoelectric is a material when given style tap hence will generate electricity. But, electricity produced piezoelectric is a signal impulse so it needs a coherent rectifier and devices series of electronic another so that the energy harvested can be stored on a battery, in this research using a module BQ25570. Module BQ25570 is an electronic device in which there are DC-DC converter, charging battery and protection, and super capacitor as media temporary storage. The research was conducted by making a prototype with size 80 cm × 50 cm, use piezoelectric kind of PZT as many as 50 strung together in parallel. Testing conducted by using the style press from the average weight of a human body. The results of tests carried out the power produced at the time of heavy 42 kg is 1,345 mW, 52 kg is 2,251 mW, 67 kg is 4,729 mW, 70 kg is 10,646 mW, and 82 kg is 17,218 mW.

Keywords: *energy harvesting, piezoelectric, module BQ25570*

PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah populasi penduduk, pertumbuhan ekonomi dan perkembangan teknologi yang semakin meningkat setiap tahun menyebabkan bertambahnya kebutuhan akan pasokan energi listrik. Kebutuhan energi listrik yang selalu meningkat mesti dapat dipenuhi agar tidak terjadi kelangkaan energi. Pembangkitan energi listrik dari sumber daya fosil yang selama ini menjadi andalan sudah harus diminimalisasi agar tidak terjadi perusakan lingkungan yang signifikan. Pemenuhan energi listrik yang ada saat ini masih menggunakan BBM atau bahan bakar fosil.

Energi fosil merupakan sebuah energi yang tidak dapat diperbaharui atau jumlahnya yang terbatas dan tidak ramah dengan lingkungan. Indonesia memiliki potensi menghasilkan sumber daya yang ramah lingkungan dengan

variasi yang cukup beragam. Adapun energi yang ramah lingkungan dapat diperoleh dari sumber yang tidak terbatas seperti sinar matahari, bunyi, angin, dan getaran.

Teknologi untuk memanfaatkan sumber-sumber energi tersebut sering disebut dengan *energy harvesting* atau pemanen energi. *Energy harvesting* adalah sebuah proses dimana energi yang dihasilkan berasal dari sumber yang tidak terbatas. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen energi ini adalah *piezoelectric*. *Piezoelectric* merupakan suatu material yang mampu menghasilkan listrik ketika diberikan gaya tekan, dimana teknologi *piezoelectric* memanfaatkan energi yang berasal dari pijakan kaki manusia untuk dikonversi menjadi energi listrik. Contoh aplikasi *piezoelectric* untuk *energy harvesting* adalah dengan memanfaatkan *piezoelectric* pada

Cite this as:

Setiawan, R.A., Alam, S., Murdika, U & Sumadi (2020). Rancang Bangun Sistem Pemanen Energi di Lantai Menggunakan Modul BQ25570 pada Aplikasi Pizoelectric Energy Harvesting. *Rekayasa*, 13 (3), 277-283. doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.8926>

© 2020 Rifki Abi Setiawan, Syaiful Alam, Umi Murdika, Sumadi

Article History:

Received: Nov, 2nd 2020; **Accepted:** Dec, 9th 2020

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

sebuah sol sepatu, dengan memanfaatkan gaya tekan yang berasal dari manusia berjalan. Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan *piezoelectric* elemen dan rangkaian penyearah, tegangan keluaran yang diperoleh sebesar 1,0 Volt (Gupta & Sharma, 2015).

Piezoelectric dimanfaatkan pada sebuah *prototype* berbentuk polisi tidur, dimana energi masukannya berasal dari sebuah kendaraan bermotor yang melewatinya. Daya yang dihasilkan *prototype* polisi tidur *piezoelectric* berdasarkan pengujian menggunakan kendaraan bermotor adalah 2.166 mWh sedangkan dengan uji manual 75.264mWh dengan efisiensi yang dicapai sebesar 2.87 % dari uji manual, hal ini dikarenakan transmisi energi yang belum berlangsung dengan optimal (Yulia et al., 2016). *Piezoelectric* sebagai pemanen energi listrik dirancang di lantai, dimana energi dari langkah manusia dapat dimanfaatkan (Mowaviq et al., 2019). Pada penelitian tersebut pengujian tegangan keluaran yang dihasilkan *piezoelectric* pada berat 60 kg sebesar 6 mV, berat 80 kg sebesar 8 mV, dan berat 100 kg sebesar 9 mV.

Piezoelectric dapat diletakkan sedemikian rupa pada sebuah alat *treadmill* dengan memanfaatkan gaya tekan dari langkah manusia (Gopinath et al., 2018). Pada penelitian tersebut dengan menggunakan 16 buah *piezoelectric* didapatkan tegangan minimum sebesar 0,5 V per langkah dan dibutuhkan 1200 langkah untuk dapat mengisi sebuah baterai sebesar 1 V. Pemanfaatan getaran beban mekanis yang berasal dari sepeda motor sebagai sumber getaran dan *piezoelectric* digunakan sebagai media konversi getaran. Pada penelitian tersebut memuat tentang beban maksimum yang diberikan yaitu sebesar 186 kg, daya maksimal yang dihasilkan oleh rangkaian seri sebesar 19.4888 μ W dan rangkaian paralel sebesar 61.5043 μ W (Putra et al., 2018).

Kombinasi antara pemanen energi *piezoelectric* dengan panel surya, dimana panel surya digunakan hanya untuk membantu energi yang dihasilkan oleh *piezoelectric* ketika jalur pejalan kaki tidak begitu ramai. Dari analisis pada penelitian tersebut, tekanan rata-rata yang diberikan manusia adalah 0,63 MPa, sedangkan mekanik kapasitas menahan tekanan dari berbagai jenis PZT cukup tinggi, jadi PZT dapat digunakan dengan aman sebagai bahan

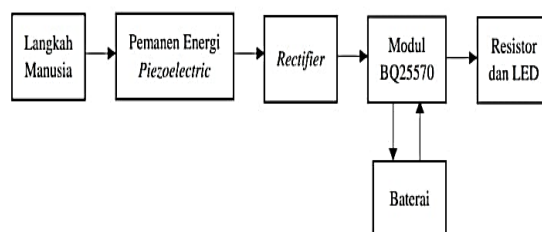
piezoelectric untuk penerapan pemanen energi (Kaur et al., 2019).

Sistem pemanen energi terdiri atas penguat modul *charging*, baterai *charging and protection*, dan DC-DC *converter*. Sistem pemanen energi tersebut sudah terdapat pada modul BQ25570. Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan sebuah penelitian tentang pemanen energi di lantai menggunakan *piezoelectric* dengan modul BQ25570.

METODE PENELITIAN

Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut :

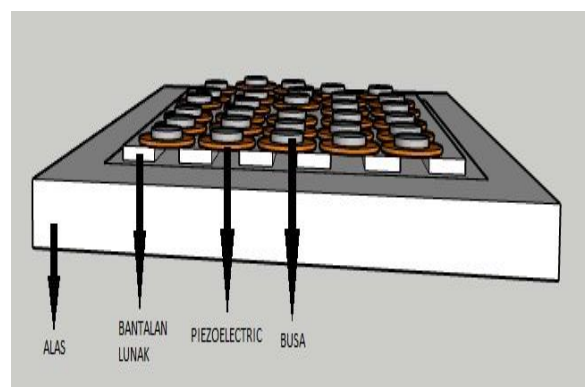


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

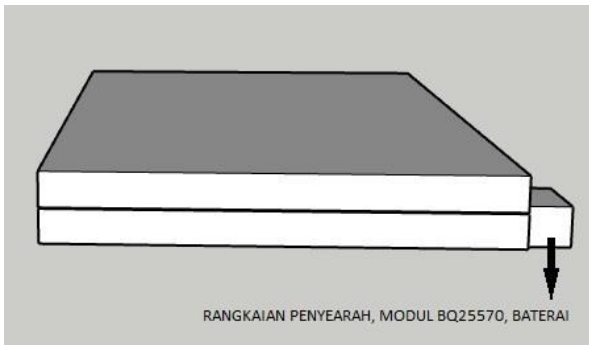
Pada Gambar 2 gaya tekan yang dihasilkan berasal dari langkah kaki manusia kemudian energi yang dihasilkan diubah menjadi energi listrik oleh material *piezoelectric*, keluaran dari *piezoelectric* masuk ke rangkaian *rectifier* dimana berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC yang dihasilkan *piezoelectric* menjadi sebuah tegangan DC yang kemudian masuk ke modul BQ25570 yang berfungsi untuk mengatur daya dimana energi listrik yang dihasilkan dapat disimpan oleh sebuah baterai atau dapat langsung digunakan oleh beban.

Perancangan prototype pemanen energi

Adapun perancangan *prototype* pemanen energi dapat di lihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



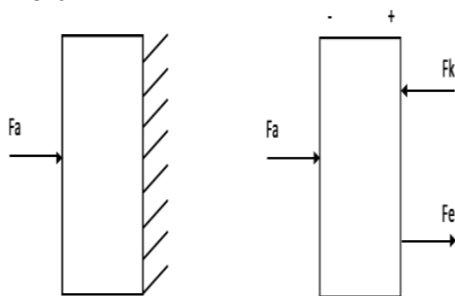
Gambar 3. Susunan *Prototype* Pemanen Energi



Gambar 4. *Prototype* Pemanen Energi

Analisa Material Single Layer Piezoelectric:

1. Sifat Mekanik



Gambar 5. Sifat Mekanik *Piezoelectric*

Keseimbangan gaya:

$$F_a = F_k - F_e$$

$$F_a = k \cdot x - k \cdot d_{33} \cdot v$$

Dimana:

$$v = \frac{Q}{C}; Q = F_a \cdot d_{33}; C = \epsilon_{33}^T \cdot \frac{A}{t_{piezo}}; k = \frac{Y \cdot A}{t_{piezo}}$$

Keterangan:

F_a = Gaya luar dari *piezoelectric* (N)

F_e = Gaya elektrik yang terjadi ketika *piezoelectric* diberikan gaya luar (N)

F_k = Gaya mekanik yang terjadi ketika *piezoelectric* diberikan gaya luar (N)

d_{33} = *Piezoelectric charge constant* (C/N)

k = Koefisien pegas (N/m)

V = Potensial listrik (V)

Q = Muatan listrik (C)

C = Kapasitansi (F)

ϵ_{33}^T = *Dielectric constant* (F/m)

Y = *Modulus young* (N/m²)

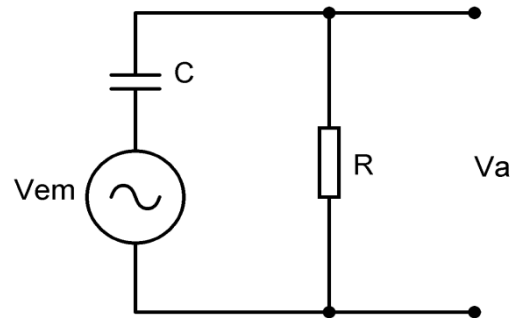
A = Luas area *piezoelectric* (m²)

t_{piezo} = *Ketebalan piezoelectric* (m)

x = *Defleksi dari piezoelectric* (m)

Jika satu lapis material *piezoelectric* diberi gaya luar (F_a) maka material *piezoelectric* tersebut akan mengalami defleksi (x).

2. Sifat elektrik



Gambar 6. Sifat Elektrik *Piezoelectric*

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan persamaan:

$$V_a = V_{em} - V_c$$

Sehingga hubungan sifat mekanik dan elektrik dari *piezoelectric single layer* adalah:

$$V_{em} = \frac{k \cdot d_{33}}{C} \cdot x$$

$$I = \frac{k \cdot d_{33}}{C \cdot Z} \cdot x$$

Dimana:

$$Z = R_{piezo} + 1/\omega C$$

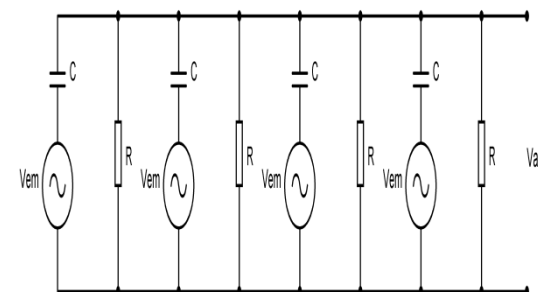
Keterangan:

V_{em} = Tegangan *piezoelectric* (V)

V_a = Tegangan pada resistor (V)

V_c = Tegangan pada kapasitor (V)

Z = Impedansi (Ohm)



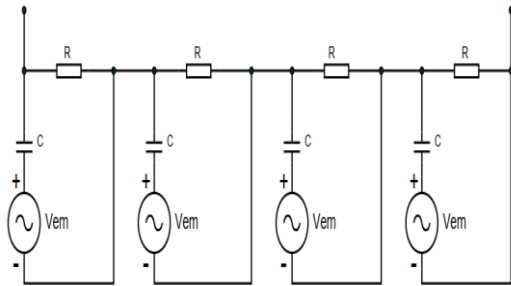
Gambar 7. *Piezoelectric* Terhubung Paralel

Tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing layer adalah sebesar V_{em} , dan karena *piezoelectric* yang digunakan akan disusun secara paralel, maka penambahan *piezoelectric* tidak berpengaruh pada tegangan, sedangkan arus yang dihasilkan dari susunan tersebut merupakan penjumlahan dari arus yang dihasilkan semua *piezoelectric*. Karena tegangan yang dihasilkan *piezoelectric*:

$$V_{em} = V_{em}(1) = V_{em}(2) = \dots = V_{em}(n)$$

Maka arus yang dihasilkan:

$$I_{piezo} = I_{piezo}(1) + I_{piezo}(2) + \dots + I_{piezo}(n)$$



Gambar 8. Piezoelectric Terhubung Seri

Kebalikan dari piezoelectric terhubung secara paralel, piezoelectric terhubung secara seri menyebabkan tegangan yang dihasilkan dikalikan dengan banyaknya jumlah piezoelectric yang digunakan, penambahan piezoelectric tidak berpengaruh pada arus yang dihasilkan dari susunan tersebut. Karena arus yang dihasilkan piezoelectric:

$$I_{piezo} = I_{piezo}(1) = I_{piezo}(2) = \dots = I_{piezo}(n)$$

Maka tegangan yang dihasilkan:

$$V_{em} = V_{em}(1) + V_{em}(2) + \dots + V_{em}(n)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prototype pemanen energi

Perhitungan tegangan, arus, dan daya piezoelectric dilakukan melalui beberapa tahapan, perhitungan dengan menggunakan berat beban (gaya tekan) mulai dari 42 kg, 52 kg, 67 kg, 70 kg, 82 kg. Adapun parameter-parameter untuk melakukan perhitungan piezoelectric sesuai dengan datasheet yang ada (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Piezoelectric

Berat (Kg)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
42	8,94	108,1	966,414
52	10,26	124,05	1272,753
67	12,25	148,15	1814,837
70	12,65	152,95	1934,817
82	14,23	172,1	2448,983

Pengukuran Tegangan, Arus dan Daya yang Dihasilkan Piezoelectric

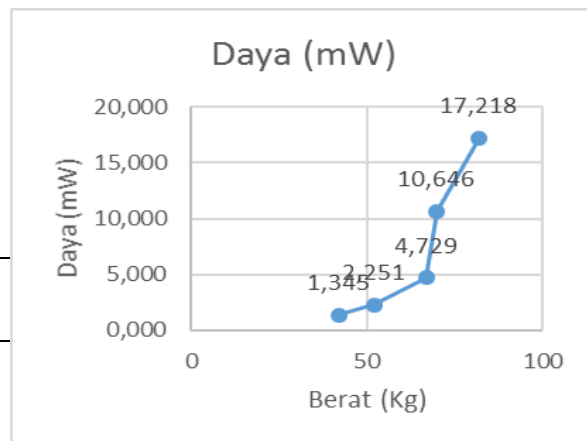
Pengujian dilakukan dengan memberikan gaya tekan (pijakan kaki) secara langsung pada prototype sistem pemanen energi piezoelectric. Gaya tekan yang dilakukan sebanyak 10 kali penekanan untuk mendapatkan variasi data dan data yang didapatkan menjadi lebih akurat, adapun tegangan yang dihasilkan piezoelectric

berupa tegangan impuls, sehingga agar dapat digunakan sebagai sumber DC maka dihubungkan dengan rangkaian penyearah. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan dengan cara menghubungkan multimeter pada output rangkaian penyearah. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Piezoelectric

Berat (Kg)	Vrata-rata (V)	Irata-rata (mA)
42	2.659	0.506
52	3.561	0.632
67	5.069	0.933
70	8.463	1.258
82	9.277	1.856

Hasil rata-rata tegangan dan arus yang dihasilkan oleh prototype sistem pemanen energi piezoelectric dengan gaya tekan yang berbeda, semakin besar gaya tekan yang diberikan maka semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan teori yang ada. Daya yang dihasilkan prototype sistem pemanen energi piezoelectric berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini :



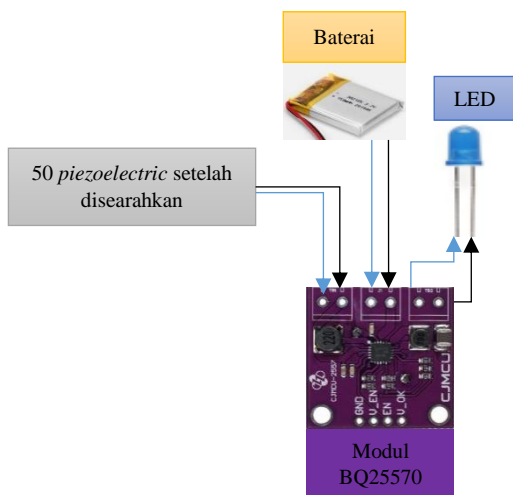
Gambar 9. Daya yang Dihasilkan Piezoelectric

Berdasarkan tabel 3 dan 4 perbandingan nilai tegangan, arus, dan daya antara perhitungan dan pengukuran yang telah dilakukan, berdasarkan data hasil yang didapatkan terdapat perbedaan nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan piezoelectric antara perhitungan dan pengukuran. Hal ini disebabkan pada saat melakukan pengukuran tidak semua piezoelectric pada prototype mengalami penekanan yang sama antara piezoelectric yang satu dengan yang lainnya, dan

juga dipengaruhi oleh rugi-rugi pada rangkaian seperti panjang kabel, hambatan jenis kabel, luas penampang kabel, komponen, dan tahanan dalam dari multimeter yang digunakan menyebabkan arus yang mengalir menjadi kecil.

Pengujian menggunakan modul BQ25570

Modul BQ25570 merupakan rangkaian yang dapat digunakan untuk memanen energi dimana modul BQ25570 mempunyai 3 port yaitu port input, port baterai dan port output. Adapun prinsip kerjanya yaitu ketika modul BQ25570 terhubung dengan sumber input dalam hal ini pemanen energi *piezoelectric* maka energi yang dipanen akan disimpan didalam penyimpanan sementara yaitu superkapasitor yang terdapat pada modul BQ25570 yang kemudian digunakan untuk mengisi sebuah baterai yang terhubung ke port baterai. Tegangan yang disimpan dapat digunakan pada sebuah beban yang dihubungkan ke port output.



Gambar 10. Wiring Diagram Pemanen Energi

Pengukuran Tegangan dan Arus Input Modul BQ25570 Dari Piezoelectric

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati nilai tegangan dan arus yang masuk ke modul BQ25570 dimana tegangan dan arus ini digunakan untuk mengisi sebuah baterai yang terhubung ke port baterai. Baterai yang digunakan yaitu baterai lipo dengan spesifikasi 3,7 Volt 150 mAh. Pengujian yang dilakukan dengan memberikan tekanan pada *prototype* sistem pemanen energi *piezoelectric* dengan berat yang digunakan yaitu sebesar 52 Kg. Penekanan yang dilakukan sebanyak 50 kali

penekanan untuk mendapatkan tegangan dan arus rata-rata yang masuk ke modul BQ25570.

Berdasarkan pengukuran tegangan dan arus input modul BQ25570 dari *piezoelectric* dengan 50 kali penekanan yang telah dilakukan, didapatkan rata-rata tegangan dan arus input yang masuk ke modul BQ25570 sebesar 0,729 V dan 0,193 mA. Energi yang tersimpan pada superkapasitor yang terdapat pada modul BQ25570 yaitu

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,22 \cdot 0,729^2$$

$$W = 0,0584 J$$

$$W = 58,4 mJ$$

Karena modul BQ25570 dapat memanen energi dengan tegangan input minimal sebesar 100 mV atau 0,1 V maka dengan rata-rata arus yang didapatkan maka dapat menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai yang kita gunakan yaitu sebesar 150 mAh.

$$Waktu = \frac{150 mAh}{0,193 mA}$$

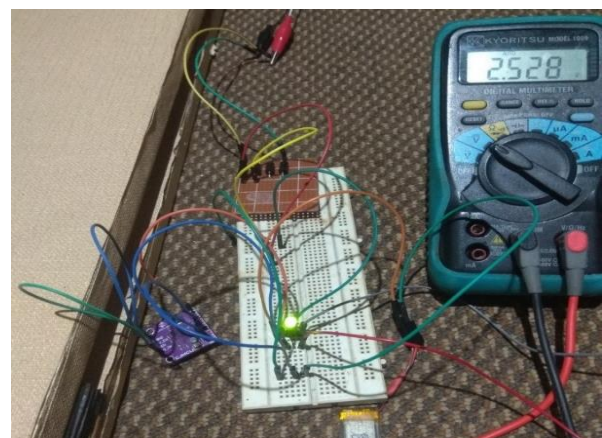
$$Waktu = 770,20 jam$$

$$Waktu = \pm 32 hari$$

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa untuk mengecaskan baterai dengan kapasitas 150 mAh dibutuhkan waktu selama 777,20 jam atau selama ±32 hari.

Pengujian Output dari Modul BQ25570

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya daya output modul BQ25570 yang terhubung dengan sebuah LED.



Gambar 11. Pengukuran Daya Output Modul BQ25570

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan didapatkan tegangan output sebesar 2,528 V dan

arus output sebesar 14 mA, sehingga daya output dari modul BQ25570 adalah:

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$P_{out} = 2,528 V \cdot 14 mA$$

$$P_{out} = 35,392 mW$$

Berdasarkan datasheet modul BQ25570 diketahui tegangan awal sebesar 0,6 V dengan mengkonsumsi arus sebesar 488 nA.

Konsumsi daya dari modul BQ25570 dapat dihitung sebagai berikut

$$P_{modul} = V \cdot I$$

$$P_{modul} = 0,6 V \cdot 488 nA$$

$$P_{modul} = 0,2928 \mu W$$

Sehingga didapatkan:

$$P_{total} = P_{out} + P_{modul}$$

$$P_{total} = 35,392 mW + 0,2928 \mu W$$

$$P_{total} = 35,3922 mW$$

Sementara itu energi output yang dikeluarkan dengan asumsi $t = 1$ didapatkan:

$$W = P_{total} \cdot t$$

$$W = 35,3922 mW \cdot 1 dt$$

$$W = 35,3922 mJ$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa energi yang tersimpan sebesar 58.4 mJ dan energi yang dikeluarkan sebesar 35.3922 mJ, sehingga energi yang tersimpan sebesar 23.0078 mJ. Setelah diketahui daya output dari modul BQ25570 maka dapat dihitung efisiensi dari modul BQ25570.

$$P_{in} = V \cdot I$$

$$P_{in} = 3,654 V \cdot 18 mA$$

$$P_{in} = 65,772 mW$$

Maka efisiensinya sebesar:

$$Efisiensi(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$Efisiensi(\%) = \frac{35,392 mW}{65,772 mW}$$

$$Efisiensi(\%) = 53,81\%$$

Perhitungan di atas menunjukkan bahwa efisiensi dari modul BQ25570 adalah sebesar 53,81 %.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Daya yang dihasilkan dari hasil pengujian sistem pemanen energi *piezoelectric* pada saat berat 42 kg sebesar 1,345 mW, 52 kg sebesar 2,251 mW, 67 kg sebesar 4,729 mW, 70 kg sebesar 10,646 mW, dan 82 kg sebesar 17,218 mW. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi sebuah baterai dengan besar 150 mAh dari sebuah pemanen energi *piezoelectric* menggunakan modul BQ25570 yaitu selama 777, 20 jam atau kurang lebih 32 hari. Dari hasil pengujian daya output yang dihasilkan modul

BQ25570 adalah sebesar 35,392 mW dengan efisiensi sebesar 53,81 %.

Saran

Adapun saran berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, yaitu menggunakan *piezoelectric* tipe lain untuk memaksimalkan energi yang dipanen yang dapat mempercepat proses pengisian baterai. Desain baru pemanen energi dari *piezoelectric* yang lebih baik untuk pengoptimalan energi listrik yang dihasilkan oleh *piezoelectric*. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan tidak hanya pemanen energi dari *piezoelectric* saja, tetapi pemanen energi lainnya seperti *RF energy harvesting*, *thermal electric generator* (TEG) dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aman, M. A., Afridi, H. U., Abbasi, M. Z., Khan, A., & Salman, M. (2018). Power Generation from Piezoelectric Footstep Technique. *J.Mech.Cont.& Math. Sci*, 13(4), 67–72.
- Ashwathi, A., Brindha, M. D., Ruth, E., & Veena, B. (2017). Micro Energy Harvesting Using Piezoelectric Material. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 04(05), 2667–2671.
- Boby, K., Paul, A., Anumol, Thomas, J. A., & Nimisha. (2014). Footstep Power Generation Using Piezo Electric Transducers. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(10), 264–267.
- Gopinath, R., Lavanya, M., & Arivalanga, M. (2018). Power Generating Using Human Foot Step With Pizeo. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119(16), 3171–3182.
- Gupta, A., & Sharma, A. (2015). Piezoelectric Energy Harvesting via Shoe Sole. *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, 1(6), 10–13.
- Kaur, B., Agnihotri, A., Thapar, D., & Arora, N. (2019). Piezoelectric Energy Harvester Design and Power Conditioning with Solar Integration. *2019 3rd International Conference on Electronics, Materials Engineering and Nano-Technology*,

IEMENTech 2019.

- Mathane, V. N., Salunkhe, L. A., & Sayali, G. (2015). Foot Step Power Generation Using Piezoelectric Material. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 4(10), 2503–2507.
- Mowaviq, M. I., Junaidi, A., & Purwanto, S. (2019). Lantai Permanen Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik. *Energi & Kelistrikan*, 10(2), 112–118.
- Mustapha, A. A., Leong, K., & Ali, N. M. (2016). Piezoelectric Energy Harvesting Rectifying Circuits Comparison. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(10), 6361–6365.
- Nikat, A., & Lokhande, S. D. (2015). Solar Energy Harvesting And Power Management For Self Powered Wireless Temperature Sensor. *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*, 3(04), 1635–1638.
- Panthi, N., Gupta, A., Baby, E., & Santhosh, N. (2014). Footstep Energy Harvester Using Piezoelectric Transducer. *IJLTEMAS*, 3(12), 54–57.
- Prakash, G., & Pradeepa, S. (2017). Modelling and Simulation of Piezoelectric Energy. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 5(11), 136–140.
- Putra, D. R., Oktoricoento, J. S., Sahrudin, S., Mujirudin, M., Ramza, H., Heriyani, O., & Maddu, A. (2018). Energi Alternatif Melalui Getaran Beban Mekanis. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(3), 8–17.
- Rinaldi, R. G., & Kuncoro, M. A. (2019). Perbandingan Pengisian Kapasitor oleh Piezoelektrik dengan Baterai. *JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro)* 04(01), 7–14.
- Susilo, D., & Firmansyah, E. (2014). Sistem Pemanen Energi dengan Transduser Piezoelektrik untuk Perangkat Daya Rendah. *Jurnal Generic*, 9(1), 292–300.
- Widodo, F. H., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2017). Perancangan Sistem dan Monitoring Sumber Arus Listrik Dsri Lantai Piezoelectric Untuk Pengisian Baterai. *E-Proceeding of Engineering*, 4(1), 795–802.
- Yulia, E., Putra, E. P., Ekawati, E., & Nugraha. (2016). Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, 8(1), 105–114.

