

Rancang Bangun Prototipe Pemanen Energi Getaran pada Speed Bump Menggunakan Transducer Piezoelectric

Legenda Prameswono Pratama*, Rizal Agus Herdiyansyah Lubis, Mauludi Manfaluthy

Jakarta Global University, Indonesia

Jl. Boulevard Grand Depok City, Tirtajaya, Kec. Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat 16412

E-mail: legenda@jgu.ac.id; rizalagus@student-jgu.ac.id; mauludi@jgu.ac.id

INFO ARTIKEL

Alamat Web Artikel:

<https://journal.umy.ac.id/index.php/mt/article/view/14126>

DOI:

<https://doi.org/10.18196/mt.v3i2.14126>

Data Artikel:

Diterima:
07 Maret 2022
Direview:
21 Maret 2022
Direvisi :
29 Maret 2022
Disetujui :
19 April 2022

Korespondensi:

legenda@jgu.ac.id

ABSTRAK

Listrik adalah salah satu aspek penting bagi manusia untuk menjalankan segala kegiatan sehari-hari. Seiring dengan terus meningkatnya jumlah penduduk, maka kebutuhan akan pemakaian energi listrik juga semakin meningkat. Namun, sebagian besar konsumen energi listrik masih mengandalkan PLN (Perusahaan Listrik Negara), sehingga diperlukan banyak inovasi di bidang ketenagalistrikan, terutama energi alternatif yang ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan jumlah penduduk yang terus meningkat tiap tahunnya, maka dibuatlah alat yang dapat mengkonversikan energi tekanan dari kendaraan sepeda motor menjadi energi listrik. Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Studi ini telah berhasil mengintegrasikan teknologi daur ulang energi dalam sebuah konsep pemanenan energi menggunakan transducer *piezoelectric* yang divalidasi menggunakan 200 kali pijakan pada prototipe *speed bump*. Dari total 200 kali pijakan pada *speed bump* tegangan yang disimpan pada ACCU terus mengalami kenaikan tetapi tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* terus mengalami penurunan pada 50 pijakan pertama yaitu penambahannya sebesar 1,1V dimana tegangan ACCU awal adalah 3,4 V menjadi 4,5 V, dipijakan ke 100 penambahan tegangan masih stabil yaitu sebesar 1,1 V, dipijakan ke 150 mulai terjadi penurunan interval yaitu menjadi 0,9V, dipijakan terakhir yaitu pijakan ke 200 terjadi lagi penurunan yaitu menjadi 0,5 V.

Kata Kunci: Energi Alternatif, Pembangkit, Piezoelectric, Speed bump

ABSTRACT

Electricity is one of the important aspects for human beings to perform many daily activities. Along with the ever-increasing population, the need for electrical energy consumption is also increasing. However, the majority of consumers of electrical energy still rely on PLN (Perusahaan Listrik Negara). Hence innovation in the electricity sector is necessary, especially in environmentally friendly alternative energy. Along with the ever-growing number of vehicles, a prototype is designed to convert the pressure energy of the vehicle into electrical energy using a modified speed bump. This research applied the experimental method. From a total of 200 times a foothold on the speed bump, the voltage stored in the ACCU continues to rise, but the voltage generated by the piezoelectric continues to decline at 50 footholds. The first is the addition of 1.1 V voltage ACCU from 3.4 V to 4.5 V. In the footing to 100, the addition of the voltage is still stable amounting to 1.1 V. Meanwhile, on a footing to 150, it began to decline in the interval of 0.9 V, while the foothold to 200 dropped further to 0.5 V.

Keywords: Alternative Energy, Generator, Piezoelectric, Speed bump

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki 2 permasalahan yang cukup krusial, yakni ketergantungan pada energi fosil [1] dan juga jumlah kendaraan terus meningkat setiap tahunnya hingga mencapai 136,13 juta pada 2020 [2]. Kedua permasalahan tersebut bisa dijadikan solusi untuk mengembangkan alat yang nantinya berguna untuk menghasilkan energi baru dan terbarukan [3].

Jika semua kendaraan yang melintas di jalan raya dapat digunakan potensi energinya untuk menghasilkan energi listrik alternatif, maka dengan pengolahan dan kebijakan yang benar, akan menjadi sumber energi potensial yang belum pernah terbayangkan sebelumnya [4].

Dengan cara memanfaatkan energi kinetik yang ditimbulkan oleh sepeda motor sebagai sumber energi alternatif penghasil listrik dengan memanfaatkan *speed bump* yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan efek dari *piezoelectric* adalah salah satu cara yang bisa diterapkan [5].

Sebelumnya *speed bump* hanya digunakan sebagai alat untuk mengurangi kecepatan dari kendaraan supaya angka kecelakaan berkurang [6]. Seiring dengan meningkatnya volume kendaraan yang berbanding lurus dengan pertumbuhan populasi manusia yang melintas di jalan. Salah satu prinsip komponen *piezoelectric* dapat digunakan untuk mendapatkan energi dari *speed bump* [7].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai pemanfaatan *piezoelectric* sebagai penghasil energi listrik sebenarnya sudah beberapa kali dilakukan oleh peneliti terdahulu. Pada tahun 2020 [6] melakukan penelitian tentang pemanfaatan *speed bump* menjadi energi listrik menggunakan *piezoelectric*. Dengan melakukan perancangan *piezoelectric* pada *speed bump*, energi kinetik yang dihasilkan dari kendaraan bermotor terlebih kendaraan roda dua dapat dikonversikan menjadi penghasil energi listrik terbarukan [8]. Dari hasil penelitian yang dilakukan, daya yang didapatkan cukup kecil, sehingga untuk menghasilkan energi listrik yang besar dari *speed bump* dibutuhkan banyaknya kendaraan yang melewatinya. Batas kecepatan kendaraan ditetapkan hanya sebesar 5 km/jam dan 10 km/jam.

Oleh sebab itu, berdasarkan penelitian sebelumnya [6], maka pada penelitian kali ini akan dibuat prototipe *speed bump* yang memanfaatkan *piezoelectric* sebagai penghasil energi listrik alternatif berskala kecil [9]. Penulis memberi batasan kecepatan hanya sebesar 5 km/jam dan 10 km/jam. Dalam pelaksanaannya, pengujian hanya terpaku dengan kendaraan bermotor dengan berbeda tipe. Pembebanan dengan motor metik yang diwakili oleh Honda Vario dan motor bergirbox diwakili oleh motor Honda Megapro. Pengujian tidak dilaksanakan berdasarkan jenis motor. Motor mempresentasikan keadaan acak dalam pelaksanaan pengambilan data. Output yang diinginkan dari penelitian ini adalah berapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan oleh prototipe *speed bump* dengan 20 *piezoelectric* yang disusun seri dan disusun paralel [10].

2.1. Speed Bump

Inovasi tentang *speed bump* yang dapat menghasilkan energi listrik disebut dengan *green speed bump* [11]. *Speed bump* adalah suatu alat yang memiliki fungsi untuk mengurangi kecepatan dengan metode menaikkan permukaan jalan [12]. *Speed bump* adalah aspal yang dipasang membentang di jalan untuk memperlambat kecepatan kendaraan. Untuk meningkatkan keselamatan bagi pengguna jalan ketinggiannya diatur dan dilengkapi dengan rambu-rambu pemberitahuan mengenai adanya *speed bump*, khususnya pada malam hari, maka *speed bump* dilengkapi dengan marka jalan yang memiliki garis miring berwarna putih atau kuning yang kontras sebagai pertanda [13].

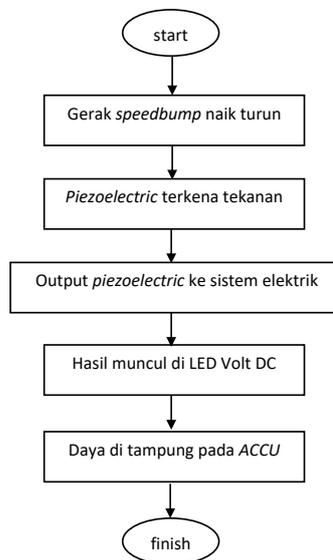
2.2. Piezoelectric

Piezoelectric merupakan kejadian yang berhasil diciptakan oleh Curie bersaudara di tahun 1880 dimana energi listrik dapat dihasilkan dari kristal yang diberikan tekanan mekanis. Istilah *piezo* merupakan bahasa Yunani yang memiliki arti tekanan [14]. Efek *piezoelectric* diperoleh dengan interaksi elektromekanis linear antara bagian mekanik [15] dan listrik [16] yang terdapat di dalam kristal. Bahan *piezoelectric* ketika belum terpolarisasi tidak akan menghasilkan listrik karena tidak ada tekanan yang diterima [17]. Sementara, setelah *piezoelectric* menerima tekanan, *piezoelectric* akan menghasilkan polarisasi dan menghasilkan listrik. Dasar ilmu ini berasal dari piroelektritas [18], arti dari piroelektritas tersebut adalah kemampuan dari komponen-komponen tertentu yang dapat menghasilkan energi listrik jika komponen-komponen itu diberikan suhu rendah atau suhu tinggi dengan menambahkan pemahaman dari karakteristik sebuah bahan kristal. Lalu Jacques dan Pierre untuk pertama kalinya mempublikasikan efek *piezoelectric* dengan menggunakan garam rossel, bahan kuarsa, kristal turmalin dan ratna cempaka [19]. Pada saat itu dilakukan uji coba dengan menggunakan kristal kuarsa dan garam rossel lah yang dapat mengeluarkan kelebihan piroelektritas yang paling tinggi hasilnya. Maka dapat disimpulkan bahwa *piezoelectric* adalah sebuah perangkat yang bisa menciptakan medan listrik saat perangkat tersebut diberi tekanan mekanis [20].

2.3. Metode Penelitian

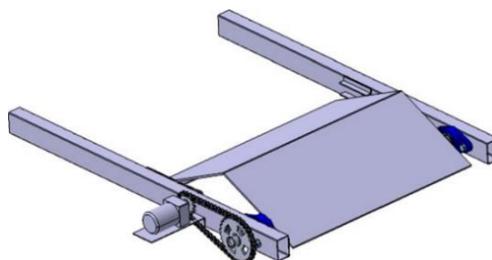
Metode penelitian yang diaplikasikan dalam pembuatan prototipe dengan memanfaatkan *piezoelectric* ini adalah metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan juga arus yang dapat dihasilkan oleh *piezoelectric* [21].

Penelitian diawali dengan mencari beberapa literatur dan referensi yang akan dijadikan bahan pembelajaran. Tahap selanjutnya merupakan perancangan *speed bump*, baik perancangan secara mekanikal maupun perancangan secara kelistrikannya. Untuk menghasilkan listrik piezoelektrik perlu mendapatkan gaya tekan, maka gerak naik turun dari *speed bump* diubah menjadi gaya tekan agar *piezoelectric* mampu menghasilkan energi listrik. Langkah gerak pada *speed bump* sebagai pembangkit listrik berawal dari gerak *bump* yang diinjak oleh sepeda motor yang melewati, lalu *bump* menyentuh *piezo* yang merubah gerak mekanik menjadi tekanan. Untuk lebih jelasnya berikut adalah blok diagram kerja pada *speed bump*. Setelah melakukan perakitan alat dilanjutkan dengan dilakukannya pengujian pada alat. Jika saat pengujian alat terjadi kendala dan tidak sesuai dengan rencana maka dilakukan evaluasi pada titik yang mengalami kendala. Selanjutnya proses pengambilan data pengukuran energi yang dihasilkan generator. Setelah proses diatas maka dilakukanlah analisa data dan simpulan.



Gambar 1. Alur Diagram Kerja

Desain speedbump memiliki dimensi panjang 1,5 m dan lebar 0,5 m dengan ketinggian speedbump 20 cm. Desain ini, dikembangkan dari [22] sebagai referensi pembuatan alat speedbump. Ketika kendaraan melewati speed bump, pegas yang berada pada tiap sisi akan mengalami tekanan sehingga *bump* akan turun dan *piezoelectric* akan tersentuh oleh besi yang berada di bawah plat. Untuk membuat plat tetap berada pada tempatnya, sisi lain plat dipasangkan bearing yang terambung langsung dengan plat.



Gambar 2. Prototipe Speedbump

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan guna memperoleh nilai arus dan tegangan yang dapat dikeluarkan oleh alat baik menggunakan rangkaian paralel maupun rangkaian seri. Pada pengambilan data ini pengujian langsung menggunakan kendaraan sepeda motor dengan masing-masing pengujian pada tiap rangkaian sebanyak 30 kali. Lokasi pengambilan data dilakukan di Gang Salam Perumahan Villa Mutiara Cibitung.

3.1. Pengujian Prototipe Rangkaian Seri Dengan Sepeda Motor

Pengujian serta pengambilan data hasil dari pengukuran arus dan tegangan dikerjakan dengan cara mencatat arus maupun tegangan pada saat puncaknya dan pengukuran dilakukan memakai AVOMeter digital. Pengambilan data pada alat ini dilakukan 30 kali pijakan, lalu dicatat besar arus dan tegangan yang dihasilkan setiap sekali pijakan, hal tersebut diterapkan karena ketika dilakukan pijakan oleh sepeda motor terkadang sepeda motor tidak berada pada posisi seharusnya yang menyebabkan tidak meratanya kekuatan pijakan ketika melewati alat *speed bump* ini walaupun massa yang melewatinya sama, maka diambil rata-rata dari 30 kali pijakan tersebut. Tabel dari hasil pengambilan data pada rangkaian seri menggunakan sepeda motor dapat dilihat dibawah. Berikut ini merupakan data dan rata-rata yang didapatkan dari 30 kali pijakan yang dikerjakan pada alat *speed bump* dengan menggunakan rangkaian seri:

Tabel 1. Hasil Pengujian Rangkaian Seri Dengan 5 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	1,44	4,5
2	0,92	3,1
3	2,09	5,6
4	1,36	4,2
5	2,75	3

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Seri Dengan 10 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	1,87	3,5
2	1,33	4,4
3	2,05	5
4	1,45	7,2
5	1,33	6,1
6	1,72	7
7	1,03	7,5
8	2,03	6,4
9	1,73	4
10	1,64	7,3

Tabel 1. Hasil Pengujian Rangkaian Seri Dengan 15 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	1,27	7
2	1,75	6,2
3	2,05	4
4	2,14	7
5	1,23	3,8
6	1,44	4,7
7	1,67	6,6
8	1,47	6
9	1,25	7,2
10	2,67	8,5
11	1,97	6,4
12	1,86	3
13	2,05	5,7
14	1,73	7,1
15	1,85	6,3

Tabel 2. Rata-rata Pengumpulan data Rangkaian Seri

Jumlah kendaraan	Tegangan (VDC)	Arus (μ A)	Daya (μ W)
5	1,98	4,08	8,07
10	1,99	5,84	11,6
15	2,13	5,96	12,6

Dapat dilihat hasil dari pengukuran rangkaian seri pada Tabel 4 bahwa semakin banyak kendaraan yang melintas semakin besar pula tegangan yang dikeluarkan oleh prototipe ini. Besaran rata-rata yang dihasilkan berdasarkan piezoelektrik yang disusun seri seperti berikut, untuk rata-rata tegangan sebesar 1,98 hingga 2,13 VDC, untuk rata-rata arus yang dihasilkan sekitar 4,08 hingga 5,59 μ A dan daya rata-rata yang dihasilkan 8.07 hingga 12,6 μ W. Hasil yang didapat tidak ada kenaikan yang signifikan, hal ini terjadi karena adanya efek pijakan yang tidak sempurna, salah satunya adalah posisi roda tidak berada tepat ditengah dari prototipe.

3.2. Pengujian Prototipe Rangkaian Paralel dengan Sepeda Motor

Pengujian serta pengambilan data hasil dari pengukuran arus dan tegangan dikerjakan dengan cara mencatat arus maupun tegangan pada saat puncaknya dan pengukuran dilakukan memakai AVOMeter digital. Pengambilan data pada alat ini dilakukan 30 kali pijakan, lalu dilakukan pencatatan berapa besar arus dan tegangan yang dihasilkan setiap sekali pijakan, hal tersebut diterapkan karena ketika dilakukan pijakan oleh sepeda motor terkadang sepeda motor tidak berada pada posisi seharusnya yang menyebabkan tidak meratanya kekuatan pijakan ketika melewati alat *speed bump* ini walaupun massa yang melewatinya sama, maka diambil rata-rata dari 30 kali pijakan tersebut. Tabel dari hasil pengambilan data pada rangkaian paralel menggunakan sepeda motor dapat dilihat dibawah. Berikut ini merupakan data dan rata-rata yang didapatkan dari 30 kali pijakan yang dikerjakan pada alat *speed bump* dengan menggunakan rangkaian paralel:

Pratama, Lubis, Manfaluthy

Rancang Bangun Energi Getaran pada Speed Bump Berdasarkan Kondisi Kendaraan Acak

Tabel 5. Hasil Pengujian Rangkaian Paralel Dengan 5 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	2,30	10
2	1,86	8,4
3	2,33	12
4	3,13	11,01
5	2,11	11,2

Tabel 6. Hasil Pengujian Rangkaian Paralel Dengan 10 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	1,48	9
2	2,28	10,03
3	3,13	12
4	2,16	10,04
5	2,10	11,2
6	1,22	9,3
7	2,16	8,4
8	2,04	10,2
9	1,18	8
10	3,10	9

Tabel 3. Hasil Pengujian Rangkaian Paralel Dengan 15 kali Pijakan

Pijakan Ke	Tegangan (V)	Arus (μ A)
1	2,36	8,12
2	2,10	7,4
3	2,01	9
4	1,87	10,24
5	2,18	9,4
6	2,01	8
7	1,77	7,6
8	2,12	7,20
9	2,18	9,03
10	2,44	9
11	2,65	8,27
12	1,54	10,01
13	2,17	11,4
14	1,44	11
15	2,31	12,23

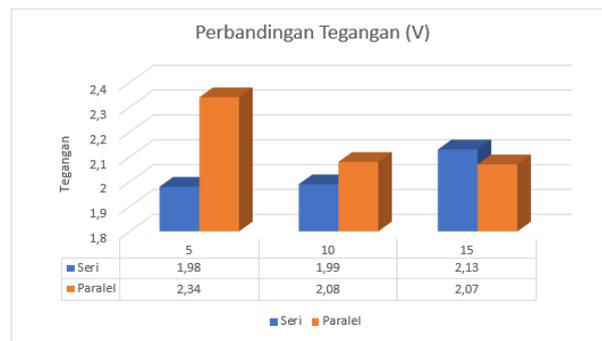
Tabel 4. Rata-rata Pengujian Rangkaian Paralel

Jumlah kendaraan	Tegangan (VDC)	Arus (μA)	Daya (μW)
5	2,34	10,52	24,61
10	2,08	9,7	20,1
15	2,07	9,19	19

Dapat dilihat hasil dari Tabel 8 bisa dilihat bahwa semakin banyak kendaraan yang melintas belum tentu semakin banyak pula tegangan dan arus yang didapatkan dari prototipe ini. Besaran rata-rata yang dihasilkan dari piezoelektrik disusun paralel seperti berikut, untuk rata-rata tegangan sebesar 2,07 hingga 2,34 VDC, untuk rata-rata arus yang dihasilkan sekitar 9,19 hingga 10,52 μA dan daya rata-rata yang dihasilkan 19 hingga 24,6 μW . Hal ini dapat terjadi karena adanya efek pijakan yang tidak sempurna atau beban yang diterima oleh *speed bump* berbeda.

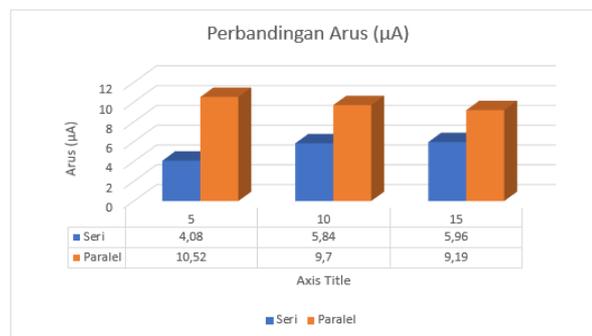
3.3. Perbandingan antara Rangkaian Seri dan Paralel

Berikut ini merupakan perbandingan grafik tegangan yang didapatkan melalui alat dengan menggunakan rangkaian seri dan rangkaian paralel menggunakan kendaraan sepeda motor:



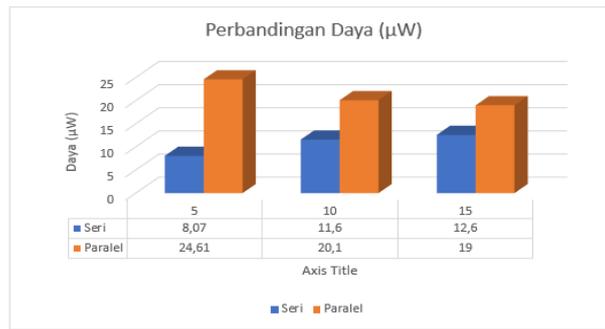
Gambar 3. Grafik Perbandingan Tegangan Seri dan Paralel

Gambar 3 merupakan grafik perbandingan tegangan yang didapatkan dari alat dengan rangkaian seri dan rangkaian paralel, perbedaannya tidak terlalu jauh. Berdasarkan grafik perbandingan tegangan, terlihat besaran hampir merata di kisaran 2 VDC. Tegangan keluaran yang didapatkan pada rangkaian seri lebih rendah dan sedikit lebih tinggi dari tegangan keluaran yang dibangkitkan pada rangkaian paralel.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Arus Seri dan Paralel

Gambar 4 merupakan hasil pengukuran perbandingan hasil output arus yang didapatkan dari alat dengan menggunakan rangkaian seri dan juga rangkaian paralel. Dari hasil yang didapat, arus yang dihasilkan oleh rangkaian paralel lebih besar bahkan memiliki nilai 2 kali dari nilai rangkaian seri. Besaran rangkaian seri berkisar di 5 μA dan rangkaian paralel berkisar 9 hingga 10 μA . Terlihat keluaran arus yang didapatkan dalam rangkaian paralel lebih besar dari pada arus yang dikeluarkan oleh rangkaian seri.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Daya Seri dan Paralel

Pada Gambar 5 dapat terlihat hasil perbandingan daya berbentuk grafik yang didapatkan dari alat yang dirangkai secara seri maupun yang dirangkai secara paralel. Terlihat hasil output daya yang didapatkan dalam rangkaian paralel semakin lama semakin menurun sedangkan pada rangkaian seri semakin lama semakin naik. Hal ini terjadi karena arus keluaran yang dihasilkan dari alat yang dirangkai secara paralel jauh lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh rangkaian seri. Dilain sisi hasil output dari tegangannya tidak terlalu terlihat perbedaan yang mencolok. Ini yang membuat daya yang dihasilkan oleh prototipe rangkaian paralel lebih besar, sebab daya berbanding lurus dengan tegangan dan arus.

3.4. Waktu Pengisian ACCU dengan Rangkaian Paralel

Pada pengujian pengisian ACCU dilakukan dengan cara manual dengan menggunakan AVOMeter digital yang dihubungkan dengan ACCU untuk mengukur tegangan awal yang disimpan oleh ACCU. Data tegangan yang disimpan oleh ACCU diukur setiap per 1 jam. Kapasitas ACCU yang digunakan adalah 12V. Berikut adalah hasil dari pengujian pengisian ACCU.

Tabel 9. Rata-rata Pengujian Pengisian ACCU Rangkaian Paralel

Waktu (Jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	4,5	2,1	9,4
2	5,6	2,7	15,1
3	6,5	3,1	20,15
4	7	3,5	24,5

Berdasarkan Tabel 9 dapat dilihat bahwa pengisian ACCU menggunakan piezoelektrik yang tersusun secara paralel dapat menghasilkan output tegangan yang selalu mengalami kenaikan apabila diberi tekanan secara konstan atau terus-menerus. Semakin lama prototipe diberi tekanan impuls, maka semakin bertambah juga tegangan yang bisa disimpan pada ACCU. Dapat dilihat dari waktu selama 4 jam ACCU bisa menyimpan tegangan sebesar 7V.

Tegangan yang tersimpan pada ACCU memang terus mengalami kenaikan selama diberikan tekanan impuls akan tetapi jumlah tegangan yang dihasilkan oleh piezoelectric terus mengalami penurunan, terlihat pada Tabel 9 penambahan terbesar terjadi pada 1 jam pertama yaitu penambahannya sebesar 1,1V dimana tegangan ACCU awal adalah 3,4V menjadi 4,5V, di 1 jam selanjutnya penambahan tegangan masih tetap yaitu sebesar 1,1V, pada 1 jam ke 3 mulai mengalami penurunan interval yaitu menjadi 0,9V, pada 1 jam ke 4 atau terakhir terjadi lagi penurunan yaitu menjadi 0,5V. Hal ini dapat terjadi bahwa semakin besar energi yang disimpan ACCU maka waktu yang dibutuhkan untuk mengisi ACCU semakin lama, meskipun tekanan yang diterimanya tetap.

Perhitungan pengisian ACCU apabila ACCU yang digunakan memiliki spesifikasi 12V/6Ah:

$$I = \frac{6Ah}{4Jam} = 1,5 A$$

Keterangan: 6Ah: Spesifikasi ACCU

4 Jam: Waktu yang dipakai dalam penelitian

$$1,5 + 20\% = 1,8A$$

Watt charger yang dibutuhkan untuk mengisi ACCU 6Ah selama 4 jam:

Diketahui tegangan standar charger ACCU = 13,8 V

$$P = V \times I = 13,8 \times 1,8 = 24,8 W$$

Jadi untuk mengisi ACCU selama 4 jam diperlukan arus output sebesar 1,8 Ampere dan tegangan sebesar 13,8 Volt. Catatan bahwa terlalu besar arus dan tegangan yang digunakan untuk men-charger ACCU dapat merusak ACCU dan terlalu kecil arus dan tegangan yang digunakan untuk men-charger ACCU maka waktu yang dibutuhkan akan semakin lama.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuat sebuah prototipe yang mampu menghasilkan energi listrik menggunakan *piezoelectric* sebagai bahan utamanya yang dirakit secara seri dan paralel [23]. Prototipe ini dapat mengubah energi mekanik yang tercipta dari kendaraan (sepeda motor) yang melintas menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan tegangan dan arus yang lebih besar adalah dengan cara memperbanyak sensor *piezoelectric* [24]. Dari total 200 kali pijakan pada *speed bump* tegangan yang disimpan pada ACCU terus mengalami kenaikan tetapi tegangan yang dihasilkan oleh *piezoelectric* terus mengalami penurunan pada 50 pijakan pertama yaitu penambahannya sebesar 1,1V dimana tegangan ACCU awal adalah 3,4 V menjadi 4,5 V, dipijakan ke-100 penambahan tegangan masih stabil yaitu sebesar 1,1 V, dipijakan ke-150 mulai terjadi penurunan interval yaitu menjadi 0,9 V, dipijakan terakhir yaitu pijakan ke-200 terjadi lagi penurunan yaitu menjadi 0,5 V.

Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar energi yang disimpan di ACCU, maka semakin banyak juga pijakan yang diperlukan untuk mengisi ACCU, walaupun tekanan yang diberikan tetap konstan. Semakin banyak kendaraan yang melewati *speed bump* maka semakin banyak energi listrik yang diperoleh [25].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Adzikri, D. Notosudjono, and D. Suhendi, "Strategi Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia," *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2017, [Online]. Available: <http://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/667>.
- [2] Badan Pusat Statistik Indonesia, "Jumlah Kendaraan Bermotor RI Capai 136,13 Juta Pada 2020, Pulau Jawa Terbanyak," *Databoks*, no. November, p. 1, 2021, [Online]. Available: [https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/29/jumlah-kendaraan-bermotor-ri-capai-13613-juta-pada-2020-pulau-jawa-terbanyak#:~:text=Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Kepulauan pada 2020&text=Badan Pusat Statistik \(BPS\) mencatat,unit kendaraan berm.](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/29/jumlah-kendaraan-bermotor-ri-capai-13613-juta-pada-2020-pulau-jawa-terbanyak#:~:text=Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Kepulauan pada 2020&text=Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat,unit kendaraan berm.)
- [3] S. Aryza, Z. Lubis, M. I. Indrawan, S. Efendi, and P. Sihombing, "Analyzed New Design Data Driven Modelling of Piezoelectric Power Generating System," *budapest Int. Res. critics Inst. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 5537–5547, 2021.
- [4] M. K. FATHONI, "Daur Ulang Energi Kinetik Dari Polisi Tidur," vol. 3, no. 3, pp. 2061–2065, 2017.
- [5] Elfi Yulia; Eka Permana Putra; Estiyanti Ekawati; Nugraha, "Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor," *J.Oto.Ktrl.Inst*, vol. 8, no. 1, pp. 2085–2517, 2016.
- [6] A. Suryadi, E. A. Nugroho, and P. T. Asmoro, "Pemanfaatan Speed Bump sebagai Pembangkit Listrik Energi Alternatif," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 307–312, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.4180.
- [7] A. A. Samn, A. M. M. Abdelhaleem, A. M. Kabeel, and E. H. Gad, "Performance Evaluation and Parameter Sensitivity of Speed Bump Energy Harvester Passed by Various Vehicles," *Int. J. Smart grid*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: 10.20508/ijsmartgrid.v2i2.21.g21.
- [8] A. Bairagi, R. C. Meem, and M. R. H. Roni, "Experimental approach to effective power generation from portable speed bump power generation system," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2324, no. February, 2021, doi: 10.1063/5.0037510.
- [9] N. Chen, H. J. Jung, H. Jabbar, T. H. Sung, and T. Wei, "A piezoelectric impact-induced vibration cantilever energy harvester from speed bump with a low-power power management

- circuit,” *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 254, pp. 134–144, 2017, doi: 10.1016/j.sna.2016.12.006.
- [10] H. C. Lin, P. H. Wu, I. C. Lien, and Y. C. Shu, “Analysis of an array of piezoelectric energy harvesters connected in series,” *Smart Mater. Struct.*, vol. 22, no. 9, 2013, doi: 10.1088/0964-1726/22/9/094026.
- [11] S. B. R. A. Unnikrishnan, A. A. K., and A. Professor, “Energy Harvesting through Speed Breakers Using Piezoelectric Materials,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. An ISO*, vol. 7, no. 6, pp. 210–213, 2007.
- [12] A. Suryadi, E. A. Nugroho, and P. T. Asmoro, “Rancang Bangun Speed Bump Sebagai Pembangkit Listrik Energi Alternatif,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 307–312, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.4180.
- [13] A. Sinha, S. Mittal, A. Jakhmola, and S. K. Mishra, “Green energy generation from road traffic using speed breakers,” *Mater. Today Proc.*, vol. 38, no. xxxx, pp. 160–168, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.248.
- [14] G. J. Song *et al.*, “Performance of a speed bump piezoelectric energy harvester for an automatic cellphone charging system,” *Appl. Energy*, vol. 247, no. March, pp. 221–227, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.040.
- [15] A. Pirisi, F. Grimaccia, M. Mussetta, and R. E. Zich, “Novel speed bumps design and optimization for vehicles’ energy recovery in smart cities,” *Energies*, vol. 5, no. 11, pp. 4624–4642, 2012, doi: 10.3390/en5114624.
- [16] Z. Wu, Q. Wei, C. Hu, and W. Shi, “Dynamic Characteristics and Output Power of the Speed Bump Vibration Energy Harvester under the Condition of Random Vehicle Speed,” *2019 Asia Power Energy Eng. Conf. APEEC 2019*, pp. 55–59, 2019, doi: 10.1109/APEEC.2019.8720696.
- [17] O. Ambacher *et al.*, “Role of spontaneous and piezoelectric polarization induced effects in group-III nitride based heterostructures and devices,” *Phys. Status Solidi Basic Res.*, vol. 216, no. 1, pp. 381–389, 1999, doi: 10.1002/(SICI)1521-3951(199911)216:1<381::AID-PSSB381>3.0.CO;2-O.
- [18] A. K. Tagantsev, “Pyroelectric, piezoelectric, flexoelectric, and thermal polarization effects in ionic crystals,” *Sov. Phys. - Uspekhi*, vol. 30, no. 7, pp. 588–603, 1987, doi: 10.1070/PU1987v030n07ABEH002926.
- [19] R. Hendry Ade, “Prototipe Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Pijakan Kaki Manusia Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif,” Universitas Islam Indonesia, 2020.
- [20] M. A. Pratama, “Perancangan Sumber Energi Pada Head Lamp Berbasis Piezoelektrik,” 2019.
- [21] E. Ekawati, Nugraha, R. Y. Mardiah, and H. Parmana, “Speed bump with piezoelectric cantilever system as electrical energy harvester,” *Proc. 2016 Int. Conf. Instrumentation, Control. Autom. ICA 2016*, pp. 154–159, 2017, doi: 10.1109/ICA.2016.7811493.
- [22] M. Isra, “Studi Experimental Pemanfaatan Speed Bumper (Polisi Tidur) Menjadi Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik Pelaksanaan penelitian dari bulan April 2020 Sampai dengan agustus 2020 pembuatan dan pengujian yang berlokasi di Jl . Cinta mulia RT 19 , block .”
- [23] C. Sun, G. Shang, X. Zhu, Y. Tao, and Z. Li, “Modeling for piezoelectric stacks in series and parallel,” *Proc. 2013 3rd Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2013*, vol. 0, pp. 954–957, 2013, doi: 10.1109/ISDEA.2012.228.
- [24] M. S. Rohman and S. T. A. Supardi, “Lantai Piezoelektri Sebagai Penghasil Sumber Energi Listrik dengan Memanfaatkan Pijakan Kaki,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- [25] Arianto Paliling, “Modifikasi Speedbump Untuk Kendaraan Sepeda Motor Sebagai Pembangkit Energi Udara Tekan,” Institut Teknologi Sepuluh Nopembe, 2015.