

## *Prototype Pembangkit Listrik Memanfaatkan Rumble Strip pada Jalan Berbasis Piezoelectric*

Febli Huda<sup>a,1</sup>, Yusron Afrialson Surbakti<sup>a</sup>, Nazaruddin<sup>a</sup>, Syafri<sup>a</sup>, dan Kaspl Anuar<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru

<sup>1</sup>[febli.huda@eng.unri.ac.id](mailto:febli.huda@eng.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*Energy is an essential requirement for human life. Humans need the energy to support their activities as living beings with high mobility. Indonesia is one country that uses the most private transport globally, ranked 11th. This condition has the potential to be developed by utilizing mechanical energy from passing vehicles by utilizing rumble strips on the highway, where rumble strips are handy to remind drivers that there is something to watch out for. This study uses piezoelectrics to convert the mechanical energy generated from vehicles passing through the resulting rumble strip into electrical energy. A set of rumble streets with 60 piezoelectrics is constructed for that purpose. The electricity from the rumble streets is loaded as voltage with acquisition data connected to a PC laptop. The maximum electric voltage generated in this study is 22.6 Vac. Where the heavier the vehicle, the higher the voltage generated. The results show the potential use of the proposed system to generate electricity.*

**Keywords:** *Piezoelectric, Mechanical energy, Rumble Strip, Vehicle, Electrical energy*

**Received** 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

### PENDAHULUAN

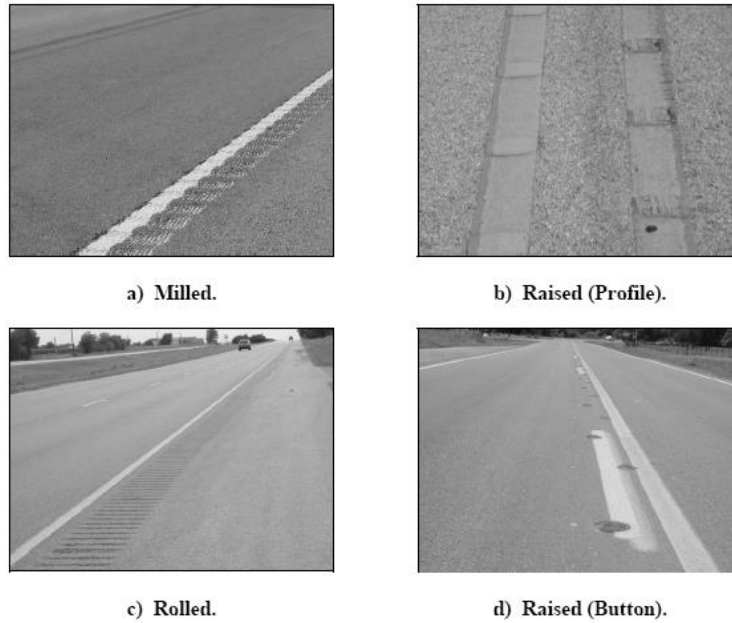
Energi merupakan kebutuhan yang sangat erat dengan kehidupan manusia. Seperti yang diketahui bahwa saat ini dunia sedang mengalami krisis energi hal ini disebabkan karena meningkatnya jumlah penggunaan energi fosil namun ketersediaannya setiap tahun semakin berkurang. Indonesia sebagai salah satu negara dengan penduduk terbesar di dunia memiliki tingkat kebutuhan akan energi yang semakin lama semakin meningkat. Kebutuhan energi Indonesia pada 2020 sebesar 290 juta ton setara minyak (*million ton oil equivalent/mtoe*), meningkat dari posisi dua tahun lalu yang sebesar 185 mtoe atau 1 % dari kebutuhan konsumsi dunia. Kenaikan jumlah kebutuhan energi ini berbanding lurus dengan meningkatnya penjualan kendaraan bermotor di Indonesia. Berdasarkan data dari badan pusat statistik nasional 2020 penjualan kendaraan bermotor mencapai 136.137.451 unit, hal ini menunjukkan adanya peningkatan dari tahun 2019. Yang mana penjualan paling banyak pada jenis kendaraan sepeda motor yaitu sebesar 115.023.039 unit pada tahun 2020. Dengan adanya peningkatan kendaraan di jalan peneliti memiliki suatu inovasi berupa pembangkit listrik dari tekanan kendaraan yang setidaknya dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang semakin lama semakin berkurang ketersediaannya. Gaya tekan dari kendaraan yang melintas dapat

direalisasikan dengan menggunakan sebuah perangkat yang bernama *piezoelectric* yang dapat mengubah suatu tekanan menjadi listrik. Kemudian alat tersebut diaplikasikan pada *rumble strip* yang akan menerima gaya tekan dari setiap kendaraan yang melewatinya. *Rumble strip* adalah suatu kelengkapan tambahan pada jalan raya yang berfungsi untuk membuat pengemudi lebih meningkatkan kewaspadaan menjelang suatu bahaya. Dengan adanya peningkatan volume kendaraan bermotor pada jalan raya dan semakin berkurangnya jumlah bahan bakar fosil didunia *prototype* pembangkit listrik memanfaatkan *rumble strip* yang terdapat pada jalan raya yang berguna sebagai kelengkapan tambahan jalan berbasis *piezoelectric* yang bertujuan untuk mengatasi permasalahan energi tersebut yang mana digunakan lampu LED 3v yang bertujuan sebagai indikator yang menandakan adanya tegangan listrik yang mengalir pada sistem tersebut.

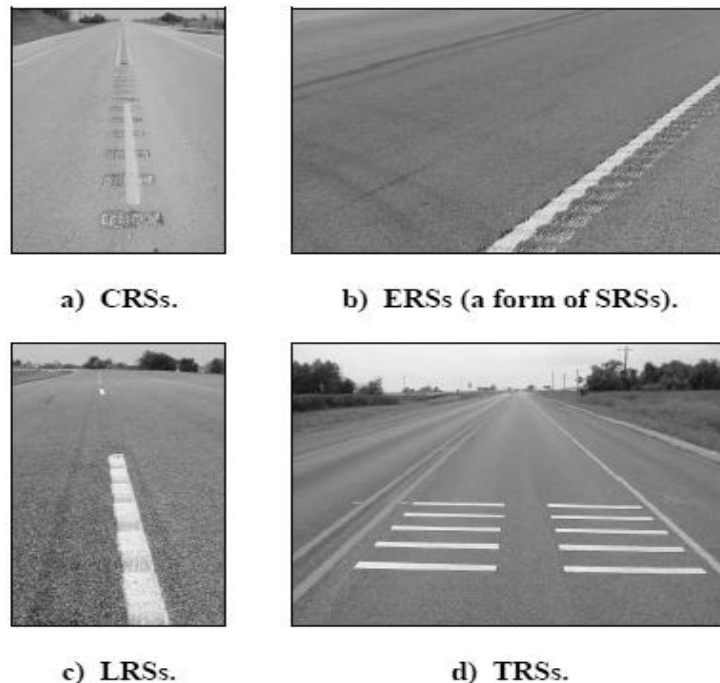
Pita penggaduh adalah kelengkapan tambahan yang diletakkan di jalan bertujuan untuk mengurangi kecepatan kendaraan, mengingatkan pengemudi tentang objek didepan yang harus diwaspadai, melindungi penyebrang jalan, dan mengingatkan pengemudi akan lokasi rawan kecelakaan (Ramadhan, 2022). Menurut teknik pembuatannya, pita penggaduh terdiri atas 3 jenis, yaitu *milled rumble strips*, *rolled rumble strips*, dan *raised rumble strips* dapat dilihat pada gambar 1.

Menurut lokasi penempatannya pita penggaduh terdiri atas pita penggaduh yang ditempatkan pada marka garis tengah (*centerline rumble strips* – CRSs), pita penggaduh yang ditempatkan pada bahu jalan (*shoulder rumble strips* – SRSs), pita penggaduh yang di tempatkan pada

marka garis pembatas lajur (*laneline rumble strips* – LRSs), dan pita penggaduh yang dipasang melintang lajur lalu lintas (*transverse rumble strips* – TRSs) dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 1 Jenis Pita Penggaduh Menurut Teknik Pembuatannya  
Sumber : Finley et al., 2005



Gambar 2 Jenis Pita Penggaduh Menurut Lokasi Penempatannya  
Sumber : Finley et al., 2005

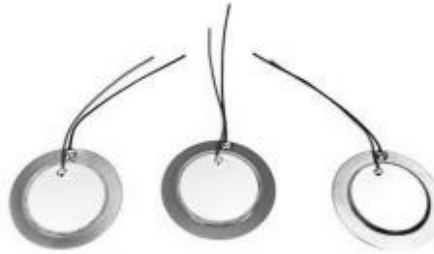
Kata *piezoelectric* berasal bahasa latin, *piezein* yang berarti diperas atau ditekan dan *piezo* yang bermakna didorong. Bahan *piezoelectric* ditemukan pertama kali pada tahun 1880-an oleh

Jacques dan Pierre Curie. Kata *piezo* berarti tekanan, sehingga efek *piezoelectric* terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material diberikan

tekanan mekanik. Berikut bentuk dari *piezoelectric* pada gambar 3.

Secara sederhana efek *piezoelectric* terjadi jika medan listrik terbentuk ketika material diberi tekanan mekanik. Energi listrik yang dihasilkan disebabkan oleh bahan dari *piezoelectric* mengandung bagian molekul bermuatan positif

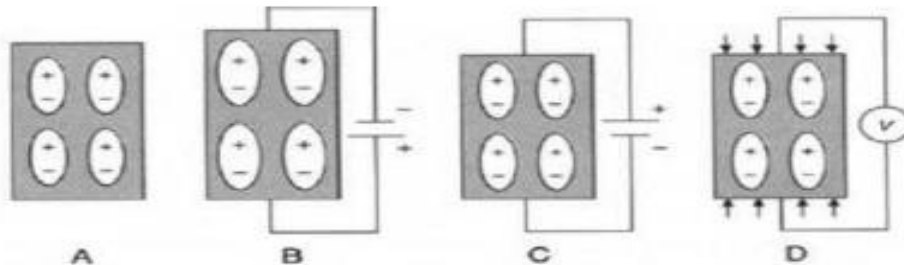
dan bermuatan negatif. Ketika terjadi pembebanan mekanik pada *piezoelectric* struktur pada *piezoelectric* akan mengalami defleksi hal ini yang menyebabkan struktur material tersebut mengalami perubahan struktur.



Gambar 2 Bentuk Fisik *Piezoelectric Disk*  
Sumber : Wijaya et al., 2019

Bahan *piezoelectric* dibentuk oleh keramik terpolarisasi. Sehingga beberapa bagian molekul bermuatan positif dan bagian lain bermuatan negatif membentuk elektroda-elektroda yang menempel pada dua sisi yang berlawanan dan menghasilkan medan listrik material yang dapat berubah akibat gaya mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang

terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipole yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal material. Penyesuaian molekul akan mengakibatkan material berubah dimensi. Fenomena ini disebut *electrostriction* atau efek *piezoelectric* (Aidil, 2017). ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Efek *piezoelectric*  
Sumber : Aidil Akmal Madia, 2017

Keterangan :

- A. Sebelum diberi tekanan atau medan listrik.
- B. Ketika diberi medan listrik, bahan memanjang.
- C. Diberi medan listrik berlawanan, bahan memendek.
- D. Ketika diberi tekanan, menghasilkan tegangan.

Bahan *piezoelectric* adalah bahan yang menghasilkan medan listrik saat mengalami regangan atau tekanan mekanis. Secara umum bahan *piezoelectric* dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: (Aidil, 2017).

1) Kristal, seperti *kuarsa* ( $\text{SiO}_2$ ), *galium ortofosfat* ( $\text{GaPO}_4$ )

- 2) Keramik, seperti *barium titanate* ( $\text{BaTiO}_3$ ), *lead zirconate titanate* (PZT)
- 3) Polimer, seperti *poli vinilidena fluorida* (PVDF)

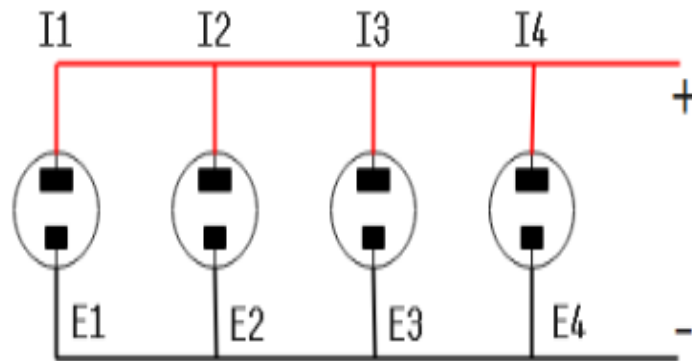
*Piezoelectric* dapat dihubungkan dengan 2 cara yaitu rangkaian seri dan paralel. Adapun perbedaan dari rangkaian seri dan paralel yaitu:

#### 1. Paralel

Rangkaian paralel dapat menghasilkan arus yang tetap dengan tegangan yang bertambah. Jumlah total daya yang dihasilkan pada rangkaian *piezoelectric* yang terhubung paralel adalah sama dengan penjumlahan total daya yang dihasilkan oleh masing-masing *piezoelectric* (Ni Ketut

H.D, 2022). Sehingga bisa dirumuskan persamaannya sebagai berikut :

$$E_{total} = E_1 + E_2 + \dots + E_N \quad (1)$$



Gambar 4 Rangkaian Piezoelectric Paralel  
Sumber : Hendry Ade, 2020

Sedangkan untuk arusnya pada rangkaian paralel, sesuai dengan bunyi dari hukum kirchof I “Arus listrik yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan arus yang keluar pada suatu titik percabangan tersebut”, sehingga persamaannya bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_N \quad (2)$$

## 2. Seri

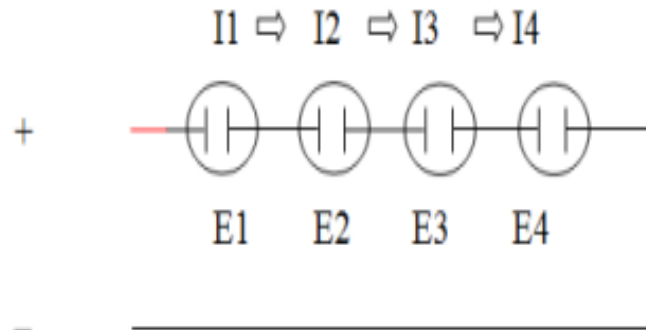
Rangkaian seri merupakan rangkaian yang menghubungkan antara kutub positif dan kutub negatnya dan begitu sebaliknya. Untuk

dayanya jumlah total daya yang masuk kesuatu titik percabangan sama dengan jumlah daya yang keluar pada titik percabangan tersebut (Hendry Ade, 2020). Sehingga bisa dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E_{total} = E_1 = E_2 = \dots = E_N \quad (3)$$

Sedangkan untuk arus total pada rangkaian seri adalah sama dengan penjumlahan arus yang dihasilkan oleh tiap komponen, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_N \quad (4)$$

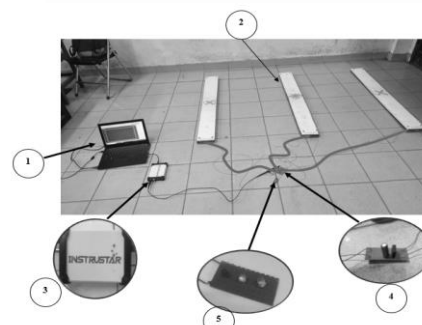


Gambar 5 Rangkaian Piezoelectric Seri  
Sumber : Hendry Ade, 2020

## METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental diawali dengan menyiapkan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Piezoelectric berbahan keramik diameter 35 mm sebanyak 60 buah
2. Kabel
3. Bantalan
4. Solder dan kawat solder
5. Papan kayu ukuran 150 cm x 15 cm



Gambar 6 Sistem Rangkaian Pembangkit

Keterangan gambar

1. Laptop
2. *Rumble strip*
3. Data Akusisi Osiloskop
4. Rangkaian pengubah arus ac ke dc
5. Lampu LED

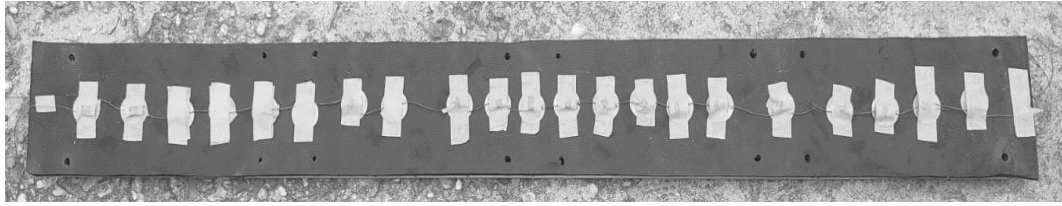
Semua fungsi dan spesifikasi komponen pada *set up* pengujian dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1 Komponen *set up* Pengujian

No.	Komponen	Keterangan	Spesifikasi
1	Laptop	Digunakan untuk menjalankan dan mengolah tegangan yang dihasilkan <i>piezoelectric</i> .	Merek: Lenovo. Prosesor: Intel CORE i5. OS : windows 10.
2	<i>Rumble strip</i>	Sebagai media yang akan menerima tekanan dari kendaraan yang lewat. Sistem tersebut terdiri dari <i>piezoelectric</i> yang dirangkai secara paralel, dan dilapisi oleh <i>spon eva</i> (busa) untuk melindungi <i>piezoelectric</i> agar tidak rusak saat dilakukan pengujian.	Material : Kayu dan <i>Spon eva</i> 6 mm. Jumlah : 3 buah <i>rumble strip</i> dengan ukuran 1500 mm x 150 mm. 60 <i>piezoelectric</i> .
3	<i>Piezoelectric</i>	Sebagai alat konversi tekanan menjadi listrik.	Diameter : 35 mm Material : Kuningan dan keramik
4	Rangkaian dioda dan kapasitor	<i>Dioda</i> digunakan untuk pengubah arus AC ke DC. Kapasitor sebagai perata arus pada <i>rectifier</i> , sebagai filter pada rangkaian <i>power</i> suplai dan juga sebagai penyimpan energi atau muatan listrik dalam sementara waktu.	<i>Dioda</i> 1n41483. Kapasitor 16 v 100 $\mu$ F
5	Data akusisi osiloskop	Pengolah sinyal tegangan listrik dalam bentuk grafik sinus yang akan dianalisis.	Merek : INSTRUSTAR ISD205A
6.	Lampu LED	Sebagai indikator yang menjadi target penelitian untuk dihidupkan.	Tegangan 3 V dan arus 0,01 A

Mekanisme dari *set up* di atas hingga dapat menghasilkan listrik adalah sebagai berikut:

1. Kendaraan sepeda motor melewati *rumble strip*.
2. Saat kendaraan melewati *rumble strip* akan terjadi gaya tekan yang diakibatkan oleh kendaraan.
3. Pada *rumble strip* yang sudah dipasangkan *piezoelectric* akan menerima tekanan dari kendaraan selanjutnya tekanan tersebut
- dikonversikan menjadi listrik oleh *piezoelectric* adapun nilai tegangan yang dihasilkan berupa tegangan ac.
4. Tegangan listrik ac yang didapat selanjutnya diubah menjadi dc dengan cara listrik yang didapat dialirkan kerangkaian *recifer* yang terdiri dari dioda dan kapasitor
5. Selanjutnya energi yang didapat digunakan menghidupkan lampu LED 3 volt.

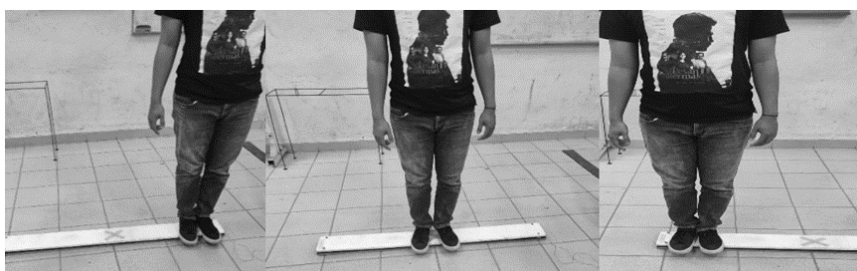


Gambar 7 Rangkaian *Piezoelectric* di dalam *Rumble Strip*

Rangkaian yang digunakan pada pengujian ini adalah rangkaian paralel, seperti pada gambar 7 di atas.

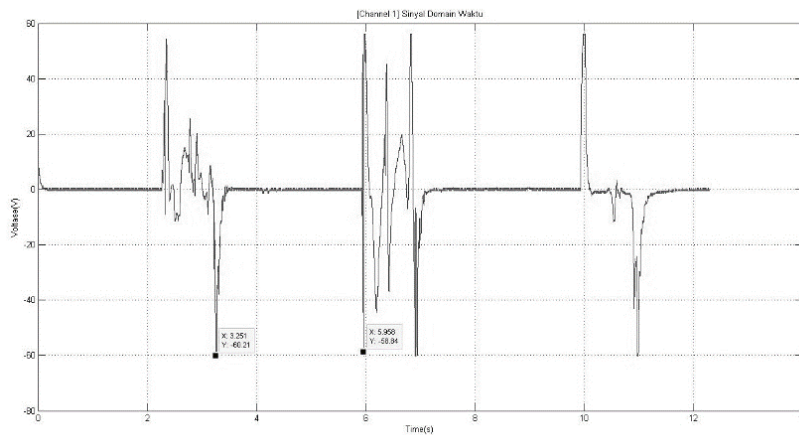
Selanjutnya Pengujian berdasarkan titik pijakan terbaik dari rangkaian *rumble strip* ditentukan

dengan percobaan secara manual, yaitu dengan memijak 3 titik tertentu, pada bagian ujung kiri, bagian tengah dan bagian kanan. Didapat hasil pada gambar 8 berikut.



A B C

Gambar 8 Pemberian Beban Berdasarkan Variasi Titik (A) Bagian Ujung Kanan Sumber Keluaran Listrik (B) Bagian Tengah (C) Bagian Ujung Kiri



Gambar 9 Grafik Pengujian Berdasarkan Posisi Pembebanan

Pijakan dimulai dari bagian ujung sumber keluaran listrik kemudian pijakan dilepas, setelah itu dilakukan pijakan pada bagian tengah kemudian dilepaskan kembali pijakannya, dan terakhir dilakukan pijakan pada bagian ujung jauh dari sumber keluaran listrik. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan memvariasikan titik pengujian pembebanan, pada grafik terlihat bahwa untuk nilai yang dihasilkan sama besar, namun adanya perbedaan kontinuitas keluaran listrik, yang mana pembebanan yang diberikan pada bagian tengah nilai kontinuitas lebih besar dibanding dengan titik

yang lain, dan juga semakin jauh dari sumber keluaran nilai kontinuitasnya semakin kecil, pengujian ini dilakukan dengan memijak titik tertentu

Prosedur pengujian dimulai dari pembuatan *set up* hingga selesai. Prosedur pengujian selanjutnya yaitu, menjalankan kendaraan dengan berbagai jenis kendaraan sepeda motor melewati *set up*, kendaraan yang akan menjadi beban pengujian adalah sebagai berikut.

1. Kendaraan sepeda motor 110 cc
2. Kendaraan sepeda motor 125 cc

3. Kendaraan sepeda motor 150 cc

4. Mobil

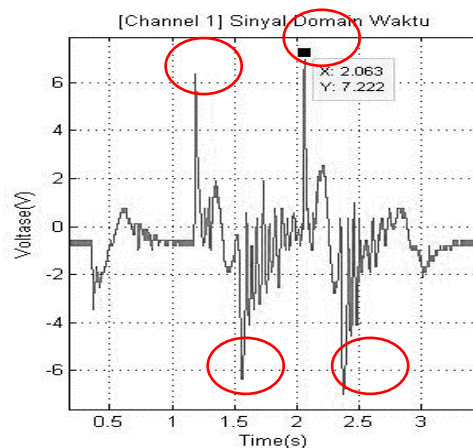


Gambar 10 Pengujian Pengambilan Data dimana *Rumble Strip* di Lewati oleh mobil dan Sepeda Motor

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil dan analisis yang telah didapat terdapat beberapa pembahasan. pembangkit listrik memanfaatkan *rumble strip* berbasis *piezoelectric* dapat menghasilkan tegangan listrik maksimum sebesar 14,02 Vac yang mana terjadi pada saat pemberian beban dengan pembebanan sebesar 257 kg. Arus yang dihasilkan yaitu berupa

arus Ac sesuai dengan karakteristik dari *piezoelectric*. Namun ketika dilakukan pengujian dengan mengubah arus keluaran dari *piezoelectric* menjadi arus Dc dan disimpan dalam kapasitor tegangan yang masuk dan disimpan oleh kapasitor mencapai sebesar 0,225 Vdc pada 1 buah *rumble strip*. Adapun karakteristik grafik yang didapat pada saat pengujian bisa dilihat pada gambar 7



Gambar 11 Karakteristik *Rumble Strip* pada Saat Dilewati Kendaraan

Pada grafik bisa dilihat bahwa terdapat 4 titik puncak grafik yang mana titik tertinggi menjelaskan bahwa titik 1 merupakan *rumble strip* 1 menerima pembebanan dari ban sepeda motor bagian depan. Titik 2 merupakan *rumble strip* 1 menerima pembebanan dari ban sepeda motor bagian belakang sedangkan *rumble strip* 2 menerima pembebanan dari ban sepeda motor bagian depan secara bersamaan. Titik 3 merupakan *rumble strip* 2 menerima pembebanan dari ban belakang sedangkan *rumble strip* 3 menerima pembebanan dari ban depan. Dan pada titik 4 merupakan *rumble strip* 3 menerima

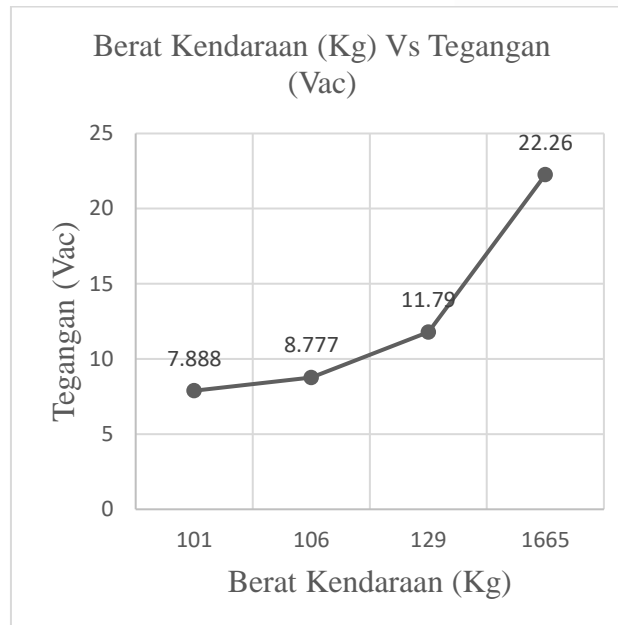
pembebanan dari ban sepeda motor ban belakang.

Pada pengujian saat kendaraan melintas *rumble strip* berat dan kecepatan dari kendaraan mempengaruhi besar nilai tegangan keluaran listrik yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan memvariasikan berat bobot kendaraan sebesar 101 kg menghasilkan tegangan sebesar 7,888 Vac, kendaraan dengan bobot 106 kg menghasilkan tegangan sebesar 8,777 Vac dan kendaraan dengan bobot 129 kg menghasilkan tegangan sebesar

11,79 Vac. Bisa dilihat kenaikan pada grafik 4.32.

Melalui grafik diatas terlihat bahwa berat bobot kendaraan mempengaruhi besar nilai dari tegangan yang dihasilkan. Hal ini berbanding dengan prinsip dari *piezoelectric* semakin besar beban yang diberikan akan memperbesar defleksi yang terjadi pada *piezoelectric* akan menghasilkan nilai tegangan yang semakin besar pula (Wijaya et al., 2019).

Pada saat melakukan percobaan untuk menghidupkan lampu LED yang memiliki tegangan sebesar 3 V menggunakan rangkaian sederhana yaitu dioda dan kapasitor, pada saat melakukan pengujian pada saat sekali pengujian didapat kenaikan sebesar 0,45 Vdc, maka untuk mencapai tegangan sebesar 3 Vdc diperlukan sebanyak 8 kali kendaraan melintas untuk mencapai tegangan pada kapasitor dan dapat menghidupkan lampu LED 3 V



Gambar 12 Grafik Berat Kendaraan (Kg) Vs Tegangan (Vac)

## KESIMPULAN

1. Sistem pembangkit listrik memanfaatkan *rumble strip* berbasis *piezoelectric* pada jalan telah berhasil dibangun, dengan memanfaatkan 60 buah *piezoelectric* sebagai komponen konversi tekanan menjadi energi listrik.
2. Potensi *piezoelectric* yang memanfaatkan kendaraan sebagai sumber pembebanan memiliki potensi yang cukup baik karena mampu menghasilkan tegangan listrik sebesar 14,02 Vac dengan besar pembebanannya yaitu 257 kg dalam sekali melintas, yang mampu menghidupkan lampu LED yang dirangkai sebanyak 3 buah.
3. Adapun tegangan yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya berat kendaraan yang melewatinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aidil Akmal Mada. (2017). Prototipe Alat Penghasil Listrik Dari Tekanan Mekanik

Berbasis Piezoelektrik. In *Bmc Public Health* (Vol. 5, Issue 1).

- [2] Aflah. (2021). Pembangkit Listrik Menggunakan Energi Suara Berbasis Membran Dan *Piezoelectric*.
- [3] Chen, N., Jung, H. J., Jabbar, H., Sung, T. H., & Wei, T. (2017). *A Piezoelectric Impact-Induced Vibration Cantilever Energy Harvester From Speed Bump With A Low-Power Power Management Circuit*. *Sensors And Actuators, A: Physical*, 254, 134–144.
- [4] Finley, M. D., Miles, J. D., & Carlson, P. J. (2005). *An Assessment of Various Rumble Strip Designs and Pavement Marking Applications for Crosswalks and Work Zones*. *Security*, 7(2), 158.
- [5] Hananto, F. ., Santoso, D. ., & Julius. (2011). *Application of Piezoelectric Material Film PVDF (Polyvinylidene flouride) as Liquid Viscosity Sensor*. *Jurnal*



- Neutrino*, 3(2), 129–142.
- [6] Hendry Ade, R. (2020). Prototipe Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Pijakan Kaki Manusia Sebagai Sumber Energi Listrik
- [7] Kim, H. S., Kim, J. H., & Kim, J. (2011). *A Review Of Piezoelectric Energy Harvesting Based On Vibration. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*, 12(6), 1129–1141.
- [8] Maulana, R. (2016). Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Pada Sepatu. In Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil.
- [9] Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2018). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2018 Tentang Alat Pengendali Dan Pengaman Pengguna Jalan. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm 82 Tahun 2018, 53(9), 1689–1699.
- [10] Ni Ketut H.D, S. R. (2022). Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Kaset Kaki Dengan Metode *Energy Harvesting*. 29–40.
- [11] Ratih, R. M., Yasyak, M. I., Nugroha, H., & Fadlilah, U. (2020). Powerbank Piezoelektrik menggunakan Tekanan Tangan. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 20(1), 47–51.
- [12] Soin, N. (2018). Magnetic Nanoparticles-Piezoelectric Polymer Nanocomposites for Energy Harvesting. In *Magnetic Nanostructured Materials: From Lab to Fab* (pp. 295–322).
- [13] Ramadhan. (2022). Analisa Pengaruh Rumble Strips Terhadap Kecepatan Kendaraan Dan Tingkat Pelayanan Saat Memasuki Zona Selamat Sekolah. University Batanghari Jambi.
- [14] Ratih, R. M., Yasyak, M. I., Nugroha, H., & Fadlilah, U. (2020). Powerbank Piezoelektrik Menggunakan Tekanan Tangan. Emitor: Jurnal Teknik Elektro, 20(1), 47–51.
- [15] Song, G. J., Kim, K. B., Cho, J. Y., Woo, M. S., Ahn, J. H., Eom, J. H., Ko, S. M., Yang, C. H., Hong, S. Do, Jeong, S. Y., Hwang, W. S., Woo, S. B., Jhun, J. P., Jeon, D. H., & Sung, T. H. (2019). *Performance Of A Speed Bump Piezoelectric Energy Harvester For An Automatic Cellphone Charging System. Applied Energy*, 247(March), 221–227.
- [16] Yang, Z., Zhou, S., Zu, J., & Inman, D. (2018). *High-Performance Piezoelectric Energy Harvesters and Their Applications. Joule*, 2(4), 642–697.
- [17] Wijaya, Y. A. C., Zebua, D., Kolago, D. P., & Utama, Y. A. (2019). Pengaruh Luas Permukaan *Piezoelectric Disk* terhadap Tekanan. *SNST Ke-10 Tahun 2019*, 54–59.
- [18] Zuo, L., Ban, J., Wang, L., Park, J., & Zhou, W. (2014). *On-Road Energy Harvesting From Running Vehicles. In University Transportation Research Center-Region 2*