

INOVASI ENERGI HIJAU: PIEZOELEKTRIK UNTUK MENGUBAH GETARAN KENDARAAN MENJADI LISTRIK

Agus Kiswantono¹, Adi Irwan²

^{1,2} Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya;

Jl. Ahmad Yani No.114, Ketintang, Kec. Gayungan, Kota SBY, Jawa Timur 60231, Telp. 031-8285602,8291055

Received: 29 Mei 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

piezoelektrik;
piezoelektronik;
energy terbarukan;
pembangkit portable.

Correspondent Email:

kiswantono@ubhara.ac.id,
adiirwan97531@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini memperlihatkan potensi besar teknologi piezoelektrik dalam mengubah getaran kendaraan menjadi sumber energi portabel yang efisien. Dengan memanfaatkan prinsip piezoelektrik, sistem yang dirancang dapat mengekstrak energi dari getaran kendaraan selama operasi normal. Salah satu hal yang menonjol dari penelitian ini adalah desain sistem yang ergonomis, memungkinkan penempatan perangkat piezoelektrik secara efisien di dalam kendaraan untuk mengoptimalkan pengumpulan energi. Percobaan yang dilakukan dengan menggunakan simulasi dan prototipe perangkat menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan energi portabel yang cukup untuk mengisi daya perangkat elektronik kecil. Implikasi dari penelitian ini sangat signifikan dalam konteks keberlanjutan energi dan lingkungan. Dengan memanfaatkan energi piezoelektrik dari getaran kendaraan, kita dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya listrik konvensional dan bahan bakar fosil, sesuai dengan upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan mempercepat transisi menuju energi terbarukan. Rata-rata tegangan output yang lebih tinggi dari rangkaian seri, sebesar 4,766 V, dibandingkan dengan rangkaian paralel, sebesar 4,612 V, memberikan gambaran efisiensi dan kinerja kedua konfigurasi rangkaian dalam mengumpulkan energi dari getaran kendaraan. Penelitian ini menjadi landasan penting dalam menginspirasi langkah-langkah praktis menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan dan efisien secara energi, serta mendorong industri dan pemerintah untuk menginvestasikan lebih lanjut dalam pengembangan teknologi energi terbarukan yang ramah lingkungan..

Abstract. This research highlights the significant potential of piezoelectric technology in converting vehicle vibrations into an efficient source of portable energy. By harnessing the principles of piezoelectricity, the designed system can extract energy from vehicle vibrations during normal operation. One notable aspect of this study is the ergonomic design of the system, enabling efficient placement of piezoelectric devices within the vehicle to optimize energy harvesting. Experiments conducted using simulations and prototype devices demonstrate that the system is capable of generating sufficient portable energy to power small electronic devices. The implications of this research are profound in the context of energy sustainability and environmental conservation. By tapping into piezoelectric energy from vehicle vibrations, we can reduce reliance on conventional electrical power sources and fossil fuels, aligning with global efforts to mitigate carbon emissions and expedite the transition to renewable energy. The higher average voltage output from the series circuit, at 4.766 V compared to 4.612 V from the parallel circuit, provides insight into the efficiency and performance of both circuit configurations in harvesting energy from vehicle vibrations. This research serves as a crucial foundation for inspiring practical steps towards a more

sustainable and energy-efficient society, while also encouraging further investment from industries and governments in the development of environmentally friendly renewable energy technologies.

1. PENDAHULUAN

Dalam era teknologi yang berkembang pesat, permintaan akan energi portabel terus meningkat, terutama untuk mengisi daya perangkat elektronik kecil seperti ponsel, laptop, dan sensor nirkabel [1][2][3]. Salah satu solusi inovatif yang menjanjikan adalah pemanfaatan teknologi piezoelektrik untuk mengubah energi mekanik dari getaran kendaraan menjadi energi listrik yang dapat digunakan [4][5][6]. Teknologi piezoelektrik bekerja berdasarkan prinsip bahwa material tertentu dapat menghasilkan tegangan listrik ketika dikenai tekanan mekanis [7][8][9].

Piezoelektrik adalah suatu bahan cerdas yang menanggapi pengaruh dari tegangan mekanis atau tegangan listrik. Nama awalnya berasal dari bahasa Yunani 'piezein' yang berarti menekan, sehingga khusus menerima tekanan [10][11]. Bahan yang mampu memberikan pengaruh ke piezoelektrik adalah Barium titanat dan beberapa jenis keramik. Piezoelektrik menggunakan prinsip momen dipol yang menyebabkan pepadatan muatan listrik dan perbedaan tegangan listrik ketika disekat [12][13][14]. Pemberian medan listrik kemudian menyebabkan terjadinya gaya gerak listrik dan menghasilkan gerak mekanis atau sebaliknya. Gaya ini mampu mengubah mengubah ukuran benda menjadi lebih panjang, tetapi memperkecil lebar penampangnya [15][16][17].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem piezoelektrik yang dapat dipasang dalam kendaraan untuk memaksimalkan pengumpulan energi dari getaran yang terjadi selama operasi normal [18][19][20]. Dengan menggunakan simulasi dan prototipe perangkat, penelitian ini mengevaluasi efisiensi dan kinerja sistem dalam berbagai kondisi jalan dan operasional. Selain itu, penelitian ini membandingkan konfigurasi rangkaian seri dan paralel dalam hal tegangan output untuk menentukan konfigurasi yang paling efisien dalam mengumpulkan energi [21][22][23].

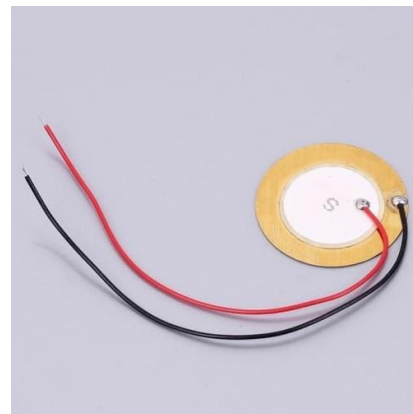
Dengan mengurangi ketergantungan pada sumber daya listrik konvensional dan bahan

bakar fosil, pemanfaatan teknologi piezoelektrik dapat mendukung upaya global dalam mengurangi emisi karbon dan mempercepat transisi menuju penggunaan energi terbarukan [24][25][26]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengembangkan teknologi energi portabel yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan [27].

2. TINJAUAN PUSTAKA

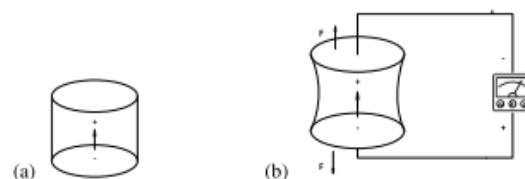
a. Piezoelektrik

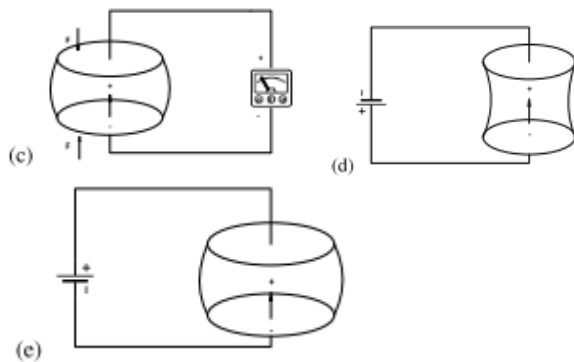
Material piezoelektrik merupakan material yang terbuat dari silikon atau germanium yang mampu menghasilkan energi listrik ketika mengalami defleksi (direct piezoelectric) sebaliknya, saat diberi tegangan akan terdefleksi (inverse piezoelectric).



Gambar 1. Piezoelektrik

Material piezoelektrik dapat mengalami defleksi dengan diberi tekanan secara langsung atau digetarkan melalui media perantara seperti kantilever.. Pemberian tekanan secara langsung akan menghasilkan tegangan piezoelektrik yang sebanding dengan besar gaya tekan akan tetapi piezoelektrik rentan mengalami kerusakan.



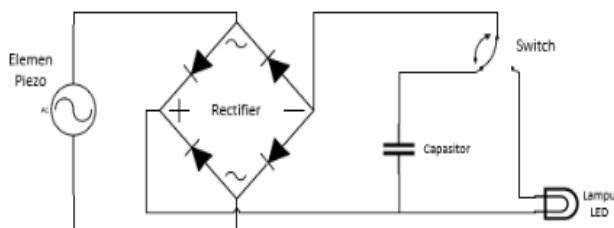


Gambar 2. Mekanisme Piezoelektrik

b. Rangkaian Generator Piezoelektrik

Piezoelektrik dalam sekali tekan dan dilepaskan akan menghasilkan arus bolak-balik.

Sehingga untuk mendapatkan energi yang maksimal dan dapat disimpan dalam baterai maka perlu disearahkan dengan rectifier. Karena energi listrik yang dihasilkan piezoelektrik sangat kecil, energi listrik disimpan terlebih dahulu dalam baterai atau kapasitor sebelum digunakan pada beban.



Gambar 3. Rangkaian Penyearah

c. Hubungan tegangan listrik piezoelektrik dengan energi mekanik

Massa beban dan posisi beban yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik erat kaitannya dengan besarnya energi mekanik/ energi potensial (joule) yang diterima piezoelektrik. Dengan menggunakan Persamaan 1 dapat diketahui besarnya energi potensial dalam satuan Joule yang diterima permukaan piezoelektrik.

$$E_p = mgh \quad (1)$$

E_p : energi potensial (joule)
 h : jarak/ketinggian (m)
 g : percepatan gravitasi (ms^{-2})
 m : massa benda yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik (kg)

Selanjutnya, kaitan energi potensial dari beban yang dijatuhkan ke permukaan piezoelektrik dapat memiliki korelasi antara energi mekanik dari guncangan yang timbul dalam perjalanan berkendara dengan gaya tekan pada permukaan piezoelektrik. Semakin besar dan sering permukaan piezoelektrik menerima tekanan dari pemukul berpegas, maka energi listrik dari piezoelektrik dapat dihasilkan. Kecepatan pemukul berpegas memukul permukaan piezoelektrik akan mempengaruhi energi mekanik yang akan diterima permukaan piezoelektrik. Energi ini dinyatakan dengan energi kinetik sebagaimana pada Persamaan 2.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

E_k = Energi kinetik (joule)

m = massa (kg)

v = kecepatan (m/s)

$$E_{m1} = E_{m2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$$

$$m_1gh + \frac{1}{2}m_1v^2 = m_2gh + \frac{1}{2}m_2v^2 \quad (3)$$

E_k : energi kinetik (joule)

M : massa (kg)

V : kecepatan (m/s)

E_p : energi potensial (joule)

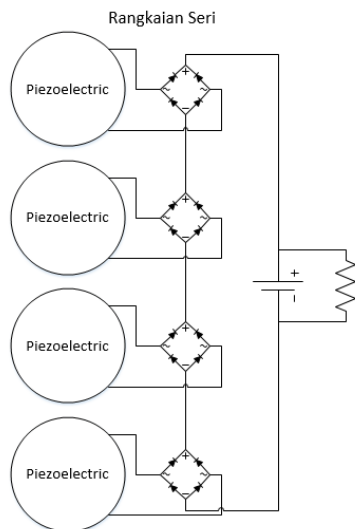
m : massa benda yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik (kg)

G : percepatan gravitasi (ms^{-2})

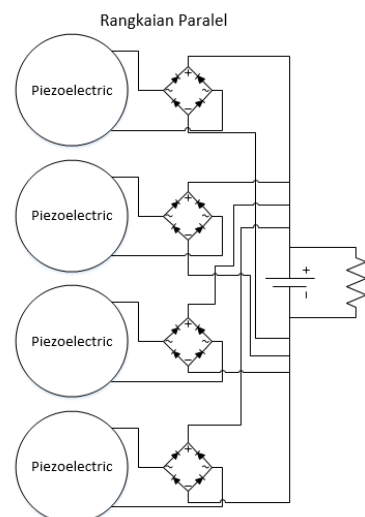
Energi mekanik yang diterima oleh permukaan piezoelektrik dapat berasal dari energi kinetik yang bersumber dari guncangan-guncangan yang dialami kendaraan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

. Konfigurasi seri dan paralel dengan jumlah piezoelektrik dan energi mekanik yang sama akan diberikan pada permukaan piezoelektrik.

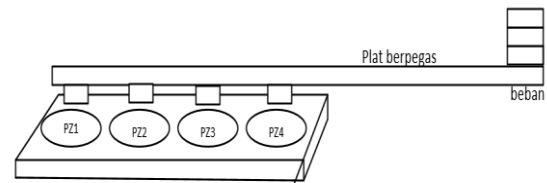


Gambar 4. Rangkaian Piezoelektrik secara seri



Gambar 5. Rangkaian Piezoelektrik secara parallel

Pengukuran baik dengan konfigurasi seri dan paralel dilengkapi dengan komponen tambahan diode jembatan seperti pada Gambar 3. Dioda jembatan berfungsi sebagai penyearah tegangan sehingga tegangan keluaran piezoelektrik berupa sinyal bolak-balik dapat diukur dengan multimeter berupa sinyal searah (DC).

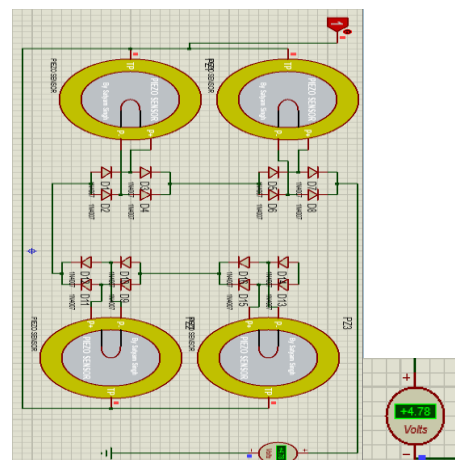


Gambar 6. Desain prototype

Dalam tahapan uji coba perangkat dilakukan melalui simulasi menggunakan Proteus 8. Proteus 8 dipilih sebagai alat simulator dikarenakan kelengkapan library[9]. Dengan melakukan uji coba menggunakan simulator, dapat mengetahui ada atau tidaknya kesalahan dalam perancangan tanpa adanya resiko kerusakan pada bahan yang dipergunakan.

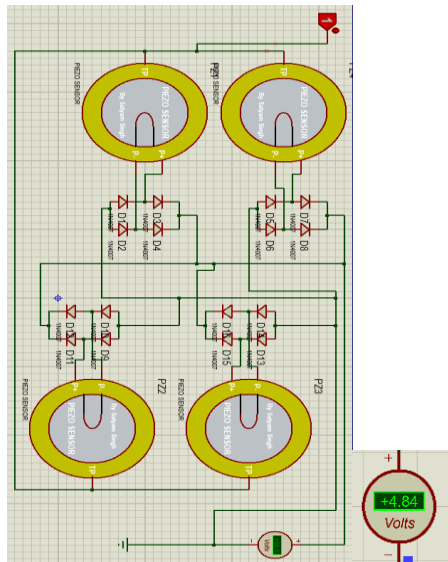
Dalam simulasi yang dilakukan terdapat dua jenis konfigurasi rangkaian yang diuji coba, yaitu rangkaian seri dan paralel. Perbedaan dari kedua konfigurasi rangkaian tersebut berada pada rangkaian penghubung di bagian output diode bridge dari piezoelectric. Parameter yang dipergunakan dalam simulasi ini adalah pengukuran tegangan output pada rangkaian generator piezoelektrik.

Berikut adalah konfigurasi rangkaian seri yang disimulasikan di Proteus. Dapat diperhatikan pada masing-masing bagian output diode bridge dihubung secara seri, kemudian dilakukan pengukuran tegangan output pada ujung output positif diode bridge piezoelektrik pertama dan output negative diode bridge piezoelektrik keempat.



Gambar 7. Simulasi rangkaian piezoelektrik seri di proteus

Konfigurasi rangkaian paralel yang diujicoba pada proteus ditunjukkan pada gambar 8. Nampak masing-masing output positive dioda bridge dihubungkan, begitu pula pada masing-masing output negative diode bridge. kemudian dari output positive dan negative dilakukan pengukuran tegangan outputnya.



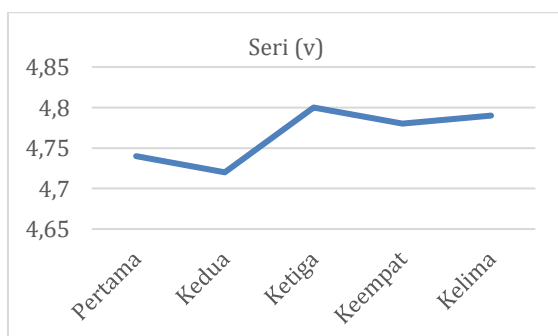
Gambar 8. Simulasi rangkaian piezoelektrik paralel di proteus

Berikut adalah hasil dari percobaan melalui simulator.

Hasil Percobaan Simulasi Rangkaian Seri

Table 1 Hasil percobaan rangkaian seri

Percobaan	Seri (v)
Pertama	4,74
Kedua	4,72
Ketiga	4,8
Keempat	4,78
Kelima	4,79

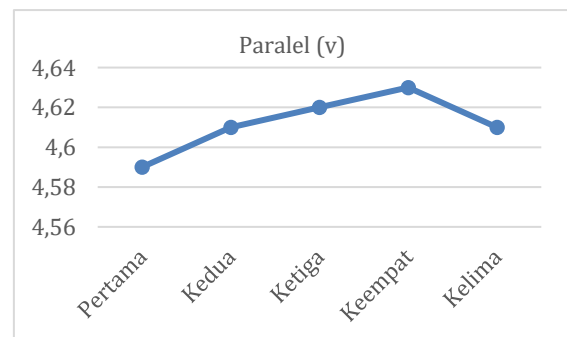


Gambar 9. Grafik percobaan rangkaian seri

Hasil Percobaan Simulasi Rangkaian Paralel

Table 2 Hasil percobaan rangkaian seri

Percobaan	Paralel (v)
Pertama	4,59
Kedua	4,61
Ketiga	4,62
Keempat	4,63
Kelima	4,61



Gambar 10. Grafik percobaan rangkaian seri

Melalui simulasi ini didapat hasil yang lebih optimal didapat dari konfigurasi rangkaian seri. Tentunya dengan menambahkan jumlah perangkat piezoelektrik akan menambah jumlah energy listrik yang didapat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan potensi besar teknologi piezoelektrik dalam mengubah getaran kendaraan menjadi energi listrik yang dapat digunakan sebagai sumber energi portabel. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem piezoelektrik yang dirancang mampu mengumpulkan energi secara efektif dari getaran kendaraan, dengan konfigurasi rangkaian seri menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi paralel. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi ini bisa diterapkan untuk mengisi daya perangkat elektronik kecil, memanfaatkan energi yang sebelumnya terbuang percuma.

Implementasi teknologi piezoelektrik dalam kendaraan menawarkan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya listrik konvensional dan bahan bakar fosil. Penggunaan teknologi ini mendukung upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan mempercepat transisi menuju energi terbarukan. Dengan mengubah getaran kendaraan menjadi listrik, teknologi ini tidak hanya memanfaatkan sumber daya yang ada tetapi juga berkontribusi pada pengurangan jejak karbon.

Pengembangan lebih lanjut dari sistem ini, termasuk peningkatan desain dan penambahan jumlah perangkat piezoelektrik, dapat meningkatkan jumlah energi yang dikumpulkan secara signifikan. Dengan demikian, teknologi piezoelektrik ini memiliki potensi besar untuk menjadi bagian penting dari solusi energi terbarukan masa depan, mendukung upaya global menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan dan efisien secara energi. Penelitian ini memberikan landasan kuat untuk eksplorasi lebih lanjut dan implementasi praktis dari teknologi piezoelektrik dalam berbagai aplikasi sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Fuzzy Control Innovation: Optimizing DC Motor Performance with Solar Energy Matahari," pp. 31–44.
- [2] A. Kiswantonono, A. Rozak, F. Syah, and M. A. M. A., "Realizing Energy Independence: Automation Solutions with Visual Studio for PLN and PLTS Integration via ATS Panel Studio untuk Integrasi PLN dan PLTS melalui Panel ATS".
- [3] A. Kiswantonono and Y. Hermanto, "PENINGKATAN KINERJA PLTB MELALUI KENDALI," vol. 12, no. 1, pp. 137–147, 2024.
- [4] O. Suhu, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Revitalisasi Sistem ATS: Integrasi Smart Relay dan Teknologi," pp. 56–63, 2023.
- [5] Y. Hermanto and A. Kiswantonono, "Stability Control of Frequency and Voltage in Wind Power Plant Using Complementary Load with Pid Control, Pwm and Thingspeak Monitor," *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.)*, vol. 7, no. 1, pp. 1159–1168, 2023, doi: 10.54732/jeeecs.v7i1.211.
- [6] H. Singkat and B. Capacity, "Analisa Simulasi Gangguan Hubung Singkat Dan Breaking Capacity Circuit Breaker Menggunakan," pp. 619–622.
- [7] A. Kiswantonono, E. N. Cahyono, and Hermawan, "Profile of Automation of Electricity Distribution System Bhayangkara University Surabaya," *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.)*, vol. 6, no. 2, pp. 1071–1080, 2021, doi: 10.54732/jeeecs.v6i2.201.
- [8] B. H. S. Samsuero and M. Surabaya, "ENERGY SYSTEM AUDIT MEASUREMENT AT RS," vol. 7, no. 2, pp. 1263–1272, 2022.
- [9] H. T. P. Ryko and A. Kiswanto, "Analisis Stabilitas Tegangan Listrik Menggunakan Panel Surya Pada Lampu Penerangan Jalan Umum (Pju) Berbasis Arduino," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 148–152, 2021, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [10] J. I. Tech, "Transformasi Pemantauan Energi: Kontrol Daya Listrik 3 Fasa Dengan Antarmuka Grafis Pengguna (Gui) Secara Langsung," vol. 1, no. 2, pp. 76–84, 2023.
- [11] M. Suropto, A. Kiswantonono, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Evaluasi Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Jabon Dengan Simulasi Software CYMGRD," *J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 137–148, 2021.
- [12] A. Syaefudin, A. Kiswantonono, and B. Purwahyudi, "Sistem Kendali Kinerja Motor 1 Fasa pada WTP Menggunakan ESP8266 Tipe 01," *Sent. Vi 2021*, no. November 2021, pp. 110–119, 2021.
- [13] H. D. Paminto and A. Kiswantonono, "Volume 3 Issue 1 Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering Rancang Simulasi Sistem Over Current Relay Pada Jaringan Distribusi 20kv Menggunakan Etap," vol. 3, no. 1, pp. 45–49.
- [14] T. M. Etap, "Simulasi Gangguan Relay Differential Trafo Pada Saluran," pp. 548–553.
- [15] A. Kiswantonono *et al.*, "Rancang Bangun Proteksi Transmisi Listrik Terhadap Multi Gangguan," vol. 05, no. 02, pp. 113–118, 2023.
- [16] R. Bangun, B. Charge, C. Atmega, and M. Sepeda, "Design of Atmega2560 Charge Controller Battery Using Static Bicycle," vol. 7, no. 1, pp. 79–93, 2023.
- [17] M. Thingspeak, "Voltage and Frequency Controller for Wind Turbine With PID Controller, PWM and Thingspeak Monitor".

- [18] R. Bangun, S. Proteksi, S. B. Motor, P. Waktu, and W. Heater, "Design of Single Phase Motor Current , Voltage , Over Temperature Protection System and Temperature Timing in Water Heater".
- [19] A. Transfer, S. Ats, and M. Arduino, "Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno , IoT-Based Relay and Monitoring dan Monitoring Berbasis IoT," pp. 1–8.
- [20] T. M. Iot, "Remote reading beban listrik pada rumah yang terintegrasi menggunakan iot," vol. 3, no. 2, pp. 143–147.
- [21] H. Margareth, *No Title*. طرق تدريس اللغة العربية. 2017.
- [22] A. Kiswantono, P. Studi, T. Elektro, U. B. Surabaya, B. Arus, and P. Daya, "Analisa kelistrikan pada gedung fakultas teknik universtas bhayangkara surabaya".
- [23] P. Hermawan and A. Kiswantono, "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Automatic Main Failure (Amf) Berbasis Arduino Uno R328P Pada Prototipe Pembangkit," *Semin. Nas. Fortei*7-3, pp. 101–106, 2020.
- [24] Y. Hermanto, "Prototype Monitoring Electricity System 220v of Wind Power Plant (PLTB) based on the Internet of Things," vol. 01, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i3.469.
- [25] D. B. Prasetyo and A. Kiswantono, "Sinkronisasi Dan Monitoring Generator Dengan Pengendali Berbasis Arduino Mega 2560," Vol. 3, No. 2, Pp. 163–170.
- [26] M. A. Faza, T. Elektro, F. Teknik, And U. B. Surabaya, "Rancang Bangun Alat Monitoring Online Temperatur Klem Pada," Vol. 14, no. 1, 2022.
- [27] E. Engineering, S. Program, U. B. Surabaya, K. Gayungan, and J. Timur, "Electrical Analysis Using Esp-32 Module In," vol. 7, no. 2, pp. 1273–1284, 2022.