

## STUDI KOMPARATIF KESTABILAN ARUS DAN TEGANGAN AKI PADA SISTEM PENGISIAN *HALFWAVE* DAN *FULLWAVE* DENGAN BEBAN PENERANGAN LED PADA SEPEDA MOTOR

M. Fadhil Dianugraha<sup>1\*</sup>, Donny Fernandez<sup>1</sup>, Rifdarmon<sup>1</sup>, Nuzul Hidayat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*m.fadhildianugraha@gmail.com

**Abstract:** *The charging system is a vital component on motorcycles because it functions to supply electric current and recharge the battery. The 2014 Honda Supra X 125 motorcycle uses a halfwave charging system that only utilizes half the cycle of alternating current waves so that the charging current is relatively small and unstable, especially when overloaded with an LED lighting system that requires direct current. This study aims to compare the stability of current and battery voltage between halfwave and fullwave charging systems when using lighting loads, bulbs, and full LED lights. The study used an experimental quantitative approach with a pretest-posttest control group design, in which the standard charging system (halfwave) was modified to fullwave. The parameters measured include regulator voltage, battery voltage, State of Health (SOH), State of Charge (SOC), and ripple frequency at engine off and engine running conditions of 1,400 RPM. The results showed that the voltage of the fullwave regulator (13.04 V) was higher than that of the halfwave (10.84 V). In the condition of the engine running with full LED load, only the fullwave system experienced an increase in battery voltage by +1.40 V, while other combinations experienced a decrease. The SOH and SOC values in the fullwave system are more maintained, and the ripple frequency of the fullwave (maximum 45.70 Hz) is lower than that of the halfwave (maximum 84.70 Hz). It can be concluded that a fullwave charging system is more effective at maintaining current and voltage stability as well as battery life than halfwave.*

**Keywords:** *Charging System, Halfwave, Fullwave, LED Light, Battery Life, Ripple*

**Abstrak:** Sistem pengisian merupakan komponen vital pada sepeda motor karena berfungsi menyuplai arus listrik dan mengisi ulang daya aki. Sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014 secara standar menggunakan sistem pengisian setengah gelombang (*halfwave*) yang hanya memanfaatkan separuh siklus gelombang arus bolak-balik sehingga arus pengisian relatif kecil dan tidak stabil, terutama ketika dibebani sistem penerangan LED yang membutuhkan arus searah. Penelitian ini bertujuan membandingkan kestabilan arus dan tegangan aki antara sistem pengisian *halfwave* dan *fullwave* saat digunakan beban penerangan lampu bohlam dan lampu full LED. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimen dengan desain pretest-posttest control group, di mana sistem pengisian standar (*halfwave*) dimodifikasi menjadi *fullwave*. Parameter yang diukur meliputi tegangan regulator, tegangan aki, State of Health (SOH), State of Charge (SOC), dan frekuensi ripple pada kondisi mesin mati dan mesin hidup 1.400 RPM. Hasil penelitian menunjukkan tegangan regulator *fullwave* (13,04 V) lebih tinggi daripada *halfwave* (10,84 V). Pada kondisi mesin hidup dengan beban full LED, hanya sistem *fullwave* yang mengalami kenaikan tegangan aki sebesar +1,40 V, sedangkan kombinasi lainnya mengalami penurunan. Nilai SOH dan SOC pada sistem *fullwave* lebih terjaga, serta frekuensi ripple *fullwave* (maksimum 45,70 Hz) lebih rendah dibanding *halfwave* (maksimum 84,70 Hz). Dapat disimpulkan bahwa sistem pengisian *fullwave* lebih efektif menjaga kestabilan arus dan tegangan serta keawetan aki dibandingkan *halfwave*.

**Kata kunci:** *Sistem Pengisian, Halfwave, Fullwave, Lampu Led, Keawetan Aki, Ripple*

## A. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan moda transportasi yang paling banyak digunakan di Indonesia karena dinilai lebih efisien, praktis, dan ekonomis. Pada sepeda motor terdapat sistem yang sangat vital, yaitu sistem pengisian yang berfungsi menyuplai arus listrik ke berbagai komponen kelistrikan sekaligus mengisi ulang daya aki yang telah terpakai. Sistem pengisian bekerja dengan memanfaatkan arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan alternator, kemudian diubah menjadi arus searah (DC) oleh regulator rectifier untuk mengisi ulang daya aki (Syaief dkk., 2017). Tanpa sistem pengisian yang memadai, aki akan cepat rusak dan performa kendaraan menurun (Nuryasin dkk., 2012).

Sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014 secara standar menggunakan alternator satu fasa dengan sistem penyearahan setengah gelombang (*halfwave*). Pada sistem ini hanya setengah dari gelombang AC yang dikonversi menjadi DC untuk pengisian aki, sehingga daya yang diterima aki lebih kecil dan arus pengisian cenderung tidak stabil (Prabowo, 2018). Kondisi ini diperparah ketika sepeda motor menggunakan lampu LED, klakson, dan komponen kelistrikan lain yang dapat menyebabkan aki cepat *drop* atau tekor. Secara teori, penyearah setengah gelombang hanya melewatkan setengah siklus arus AC sehingga separuh siklus lainnya terbuang, mengakibatkan efisiensi rendah dan tegangan keluaran tidak konstan (Boylestad & Nashelsky, 2011; Malvino & Bates, 2016).

Sistem pengisian gelombang penuh (*fullwave*) memanfaatkan seluruh siklus gelombang arus bolak-balik yang dihasilkan spul, kemudian diubah menjadi arus searah oleh regulator. Rangkaian *fullwave rectifier* umumnya menggunakan empat buah dioda yang disusun sebagai jembatan (*bridge*), sehingga kedua siklus arus AC dapat dimanfaatkan dan menghasilkan tegangan DC yang lebih tinggi dan stabil dengan riak tegangan yang lebih rendah (Rashid, 2021; Sedra dkk., 2011). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyearah gelombang penuh dapat mencapai sekitar 81,2% dibandingkan hanya sekitar 40,6% pada penyearah setengah gelombang (Ghaffarinejad dkk., 2019).

Pada aspek penerangan, lampu utama kendaraan diatur oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2012 yang mensyaratkan daya pancar lampu utama lebih besar atau sama dengan 12.000 candela. Lampu LED mampu memenuhi standar tersebut; pada pengujian sebelumnya lampu LED menghasilkan 13.000 candela untuk lampu dekat dan 36.333 candela untuk lampu jauh (Pemerintah Pusat Indonesia, 2025; Sugiarto dkk., 2023). Lampu LED juga jauh lebih efisien dengan *luminous efficacy* di atas 100 lumens/watt dibandingkan lampu pijar yang hanya 10–17 lumens/watt dan lampu halogen sekitar 12–22 lumens/watt (Casamayor dkk., 2018; Simatupang dkk., 2021). Akan tetapi, lampu LED bekerja sepenuhnya dengan arus DC yang diambil langsung dari aki (Rasyid dkk., 2024), sehingga penggunaan lampu LED yang berlebihan dapat membuat aki cepat *drop* apabila sistem pengisian masih menggunakan *halfwave*.

Keawetan aki sangat bergantung pada kinerja sistem pengisian yang menyuplai daya listrik untuk seluruh sistem kelistrikan. Aki jenis *lead-acid* yang banyak digunakan pada sepeda motor memiliki keterbatasan dalam menerima arus pengisian, dan pengosongan berlebih akan mempercepat sulfasi serta menurunkan umur pakainya (Yanamandra dkk., 2023; Zhang dkk., 2022). Oleh karena itu, kondisi aki perlu dipantau melalui indikator *State of Charge* (SOC) dan *State of Health* (SOH) yang mencerminkan kapasitas muatan tersisa dan tingkat kesehatan aki (Jiang & Song, 2022; Widjaja dkk., 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan kestabilan arus dan tegangan aki antara sistem pengisian *halfwave* dan *fullwave* dengan mempertimbangkan penggunaan beban penerangan lampu bohlam dan lampu *full* LED pada sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014. Berbeda dengan penelitian terdahulu

yang umumnya hanya menilai arus dan tegangan pengisian (Amiruddin & Rohmanto, 2020; Prabowo, 2018), penelitian ini menambahkan parameter SOH, SOC, dan frekuensi *ripple* sebagai indikator keawetan aki, serta menggunakan beban penerangan *full LED* sebagai pembeda utama. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi yang berguna bagi pengguna sepeda motor dalam memilih sistem pengisian yang sesuai kebutuhan.

## B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang datanya berupa angka dan dianalisis menggunakan statistik untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan (Creswell & Clark, 2017; Sugiyono, 2019). Desain yang digunakan adalah *pretest-posttest control group design*, yaitu dengan melakukan pengambilan data ketika sistem pengisian masih dalam kondisi standar (*halfwave*), kemudian sistem pengisian dimodifikasi menjadi *fullwave*, dan dilakukan pengambilan data ulang. Modifikasi dilakukan dengan mengubah jalur kelistrikan spul serta mengganti regulator rectifier agar memanfaatkan seluruh gelombang AC (Prabowo, 2018; Tjiptady dkk., 2024). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis sistem pengisian (*halfwave* dan *fullwave*). Variabel terikat adalah keawetan aki yang diukur melalui tegangan aki, SOH, SOC, dan frekuensi *ripple*. Variabel kontrol meliputi jenis aki yang sama (aki kering 12V), jenis beban penerangan (lampu bohlam dan full LED), serta kondisi sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014. Objek penelitian adalah sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014 bermesin 4 langkah, SOHC, silinder tunggal, berkapasitas 124,89 cc dengan sistem pendingin udara. Instrumen yang digunakan meliputi multimeter digital, *tachometer*, *oscilloscope* untuk mengukur frekuensi *ripple*, dan *battery analyzer* untuk mengukur SOC dan SOH. Pengukuran dilakukan pada dua kondisi, yaitu mesin mati dan mesin hidup pada putaran 1.400 RPM, dengan interval waktu 0, 5, 10, 15, dan 20 menit. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif untuk membandingkan kinerja kedua sistem pengisian.

Tabel 1. Pola Penelitian

| Kelompok | Perlakuan | Hasil Pengujian | Keterangan                                      |
|----------|-----------|-----------------|---|
| R        | X1        | Y1              | Tanpa modifikasi ( <i>halfwave</i> )            |
| R        | X2        | Y2              | Modifikasi sistem pengisian ( <i>fullwave</i> ) |

## C. Hasil dan Pembahasan

### Tegangan Regulator

Sebelum pengujian utama, dilakukan pengecekan tegangan keluaran regulator pada kedua sistem untuk memastikan komponen pengisian bekerja normal. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital pada terminal keluaran regulator. Hasil pengecekan kedua regulator ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Pengecekan Tegangan Regulator *Halfwave*



Gambar 2. Pengecekan Tegangan Regulator *Fullwave*

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, regulator sistem *halfwave* menghasilkan tegangan 10,84 V, sedangkan regulator sistem *fullwave* menghasilkan 13,04 V. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem *fullwave* mampu menghasilkan tegangan yang lebih tinggi karena memanfaatkan seluruh siklus gelombang AC, sejalan dengan hasil yang diperoleh Amiruddin dan Rohmantoro (2020) serta penelitian modifikasi pada Yamaha Soul GT 115 yang melaporkan kenaikan tegangan pengisian setelah konversi ke *fullwave* (Daelami, 2021). Tegangan keluaran regulator yang lebih tinggi pada sistem *fullwave* menjadi modal awal bagi proses pengisian aki yang lebih optimal, karena selisih tegangan antara regulator dan aki yang lebih besar memungkinkan arus pengisian mengalir lebih deras ke dalam aki.

### Perbandingan Tegangan Aki saat Mesin Mati

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan Aki saat Mesin Mati

| No | Sistem Pengisian | Jenis Penerangan | Tegangan Awal (V) | Tegangan Akhir (V) | Selisih (V) |
|----|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| 1  | <i>Halfwave</i>  | Bohlam           | 12,42             | 11,62              | 0,80        |
| 2  | <i>Halfwave</i>  | Full LED         | 12,59             | 12,28              | 0,31        |
| 3  | <i>Fullwave</i>  | Bohlam           | 12,29             | 11,14              | 1,15        |
| 4  | <i>Fullwave</i>  | Full LED         | 10,08             | 5,46               | 4,62        |

Sumber: Data hasil penelitian

Pada kondisi mesin mati, penurunan tegangan terkecil terjadi pada sistem *halfwave* dengan beban *full LED*, yaitu hanya 0,31 V. Hal ini menunjukkan bahwa lampu LED memiliki konsumsi daya yang rendah sehingga energi yang tersimpan dalam aki lebih hemat (Hadiyoso dkk., 2017; Simatupang dkk., 2021). Sementara itu, penurunan terbesar (4,62 V) terjadi pada sistem *fullwave* dengan beban *full LED*, yang disebabkan kondisi aki pada saat pengujian tersebut sudah berada pada kapasitas rendah (tegangan awal hanya 10,08 V) sebelum pengujian dimulai. Karena mesin dalam keadaan mati, tidak ada arus pengisian yang masuk sehingga aki murni mengalami pengosongan (Czerwiński dkk., 2018).

### Perbandingan Tegangan Aki saat Mesin Hidup (1.400 RPM)

Tabel 3. Rekapitulasi Perubahan Tegangan Aki saat Mesin Hidup (1.400 RPM)

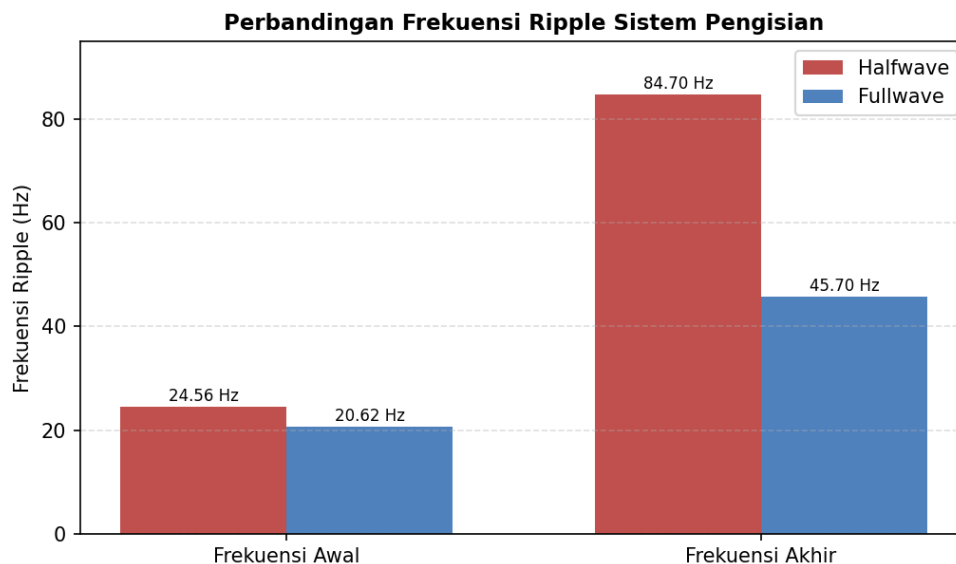
| No | Sistem Pengisian | Jenis Penerangan | Tegangan Awal (V) | Tegangan Akhir (V) | Selisih (V) |
|----|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| 1  | <i>Halfwave</i>  | Bohlam           | 12,03             | 8,62               | -3,41       |
| 2  | <i>Halfwave</i>  | Full LED         | 12,28             | 12,00              | -0,28       |
| 3  | <i>Fullwave</i>  | Bohlam           | 11,31             | 6,55               | -4,76       |
| 4  | <i>Fullwave</i>  | Full LED         | 10,12             | 11,52              | +1,40       |

Sumber: Data hasil penelitian

Pada kondisi mesin hidup 1.400 RPM, hanya kombinasi sistem *fullwave* dengan beban *full* LED yang mengalami kenaikan tegangan aki, yaitu sebesar +1,40 V. Hal ini menunjukkan bahwa arus pengisian yang dihasilkan sistem *fullwave* lebih besar daripada arus yang digunakan beban penerangan LED, sehingga aki tetap dapat terisi meskipun sedang dibebani. Sebaliknya, kombinasi lainnya tetap mengalami penurunan tegangan karena daya yang digunakan lebih besar daripada daya yang dihasilkan sistem pengisian. Temuan ini menguatkan hasil penelitian terdahulu bahwa konversi ke *fullwave* meningkatkan arus pengisian secara signifikan, yakni dari 3,7 A menjadi 7,9 A atau naik sekitar 46,8% (Prabowo, 2018), serta menghasilkan tegangan pengisian berbeban yang lebih stabil (Amiruddin & Rohmanto, 2020; Tjiptady dkk., 2024). Putaran mesin juga berpengaruh terhadap tegangan pengisian, di mana tegangan cenderung meningkat seiring naiknya putaran hingga batas regulasi kiprok (Darojad dkk., 2024; Mujib dkk., 2020).

**Analisis State of Health (SOH) dan State of Charge (SOC).** Hasil pengujian SOH dan SOC menunjukkan perbedaan pada kedua sistem pengisian. Pada sistem *halfwave*, nilai SOC menurun lebih cepat selama pengujian karena suplai arus pengisian tidak mampu menggantikan energi yang digunakan beban listrik. Sebaliknya, sistem *fullwave* mampu mempertahankan nilai SOC pada tingkat yang lebih tinggi karena arus pengisian yang dihasilkan lebih besar dan stabil. Nilai SOH pada sistem *fullwave* juga menunjukkan kondisi yang lebih baik. Stabilitas pengisian ini penting karena pola pengisian yang lebih kontinu pada *fullwave* membantu mencegah pengosongan dalam (*deep discharge*) yang dapat mempercepat sulfasi pelat dan menurunkan umur aki *lead-acid* (Yanamandra dkk., 2023; Zhang dkk., 2022). Estimasi SOC dan SOH yang andal dapat diperoleh melalui metode *Coulomb counting* maupun *open circuit voltage* (Bayuprakoso dkk., 2021; Suryoatmojo dkk., 2022).

**Analisis Frekuensi Ripple.** Selain tegangan, kestabilan arus searah hasil penyearahan juga dievaluasi melalui frekuensi *ripple* yang diukur menggunakan *oscilloscope* pada keluaran kedua sistem pengisian. Perbandingan frekuensi *ripple* antara sistem *halfwave* dan *fullwave* disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Frekuensi Ripple Sistem Pengisian

Frekuensi *ripple* yang dihasilkan kedua sistem berbeda secara signifikan. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3, sistem *halfwave* menghasilkan frekuensi *ripple* yang meningkat dari 24,56 Hz menjadi 84,70 Hz, sedangkan sistem *fullwave* hanya meningkat dari 20,62 Hz menjadi 45,70 Hz. Riak tegangan pada *halfwave* lebih besar karena gelombang DC yang dihasilkan masih berasal dari setengah siklus gelombang AC,

sementara *fullwave* memanfaatkan seluruh siklus sehingga keluaran DC lebih halus. Secara teoretis, frekuensi *ripple* penyearah gelombang penuh adalah dua kali frekuensi masukannya, sehingga lebih mudah difilter dan menghasilkan tegangan DC yang lebih stabil (Malvino & Bates, 2016; Sedra dkk., 2011). Pemasangan filter kapasitor terbukti paling efektif menurunkan tegangan *ripple* pada rangkaian gelombang penuh (Alisrobia dkk., 2023; Aulia & Mulyadi, 2023). Tegangan DC yang lebih stabil dengan *ripple* rendah sangat penting bagi lampu LED yang sensitif terhadap fluktuasi arus searah (Hadiyoso dkk., 2019; Sun dkk., 2015).

**Pembahasan Umum.** Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengisian *fullwave* memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan *halfwave* dalam menjaga kestabilan arus dan tegangan aki, terutama ketika dibebani sistem penerangan *full* LED yang membutuhkan arus searah. Keunggulan ini sejalan dengan prinsip dasar elektronika daya, di mana penyearah gelombang penuh memiliki efisiensi, tegangan keluaran rata-rata, dan *Transformer Utilization Factor* yang lebih tinggi serta *ripple factor* yang lebih rendah dibandingkan penyearah setengah gelombang (Boylestad & Nashelsky, 2011; Rashid, 2021). Dengan demikian, modifikasi sistem pengisian dari *halfwave* menjadi *fullwave* dapat menjadi solusi praktis untuk meningkatkan keawetan aki pada sepeda motor yang menggunakan beban penerangan LED, sekaligus mendukung efisiensi energi kendaraan secara keseluruhan (Irawan & Tyagita, 2016).

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: (1) sistem pengisian *fullwave* menghasilkan tegangan regulator sebesar 13,04 V, lebih tinggi daripada *halfwave* yang hanya 10,84 V; (2) sistem *fullwave* mampu mempertahankan tegangan aki lebih stabil, bahkan mengalami kenaikan +1,40 V saat mesin hidup dengan beban *full* LED, sedangkan kombinasi lain mengalami penurunan; (3) nilai SOC dan SOH pada sistem *fullwave* lebih terjaga sehingga lebih baik dalam mempertahankan keawetan aki; (4) frekuensi *ripple* sistem *fullwave* (maksimum 45,70 Hz) lebih rendah daripada *halfwave* (maksimum 84,70 Hz) sehingga arus DC yang dihasilkan lebih stabil; dan (5) secara keseluruhan sistem pengisian *fullwave* memiliki performa lebih baik dalam meningkatkan efektivitas pengisian aki pada sepeda motor Honda Supra X 125 tahun 2014. Bagi peneliti selanjutnya disarankan menambahkan parameter arus pengisian, efisiensi sistem, dan temperatur komponen, serta melakukan pengujian pada berbagai putaran mesin.

#### Daftar Pustaka

- Alisrobia, G., Hasanah, M., Kautsar, M., Fujiyanti, V., Asri, H. N., Satrio, M., & Fuada, S. (2023). Analisis Tegangan Ripple Pada Rangkaian Full Wave dengan Menggunakan 3 Jenis Filter Berbeda dalam Circuit Wizard. *D'computare: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 13(1), 33–39. <https://doi.org/10.30605/dcomputare.v13i1.53>
- Amiruddin, M., & Rohmanto, D. (2020). Modifikasi Sistem Penerangan AHO dengan Pengisian *Fullwave* untuk Meningkatkan Arus dan Tegangan Pengisian Pada Motor Honda Scoopy. *Journal of Automotive Technology Vocational Education*, 1(2), 9–18. <https://doi.org/10.31316/jatve.v1i2.990>
- Aulia, M. F., & Mulyadi, A. (2023). Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan modifikasi IC untuk mengurangi output ripple gelombang DC. *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 13(2), 131–140.
- Bayuprakoso, B. A., Munadi, M., & Paryanto, P. (2021). Analisis Estimasi State of Charge Baterai Li-Ion Berbasis Open Circuit Voltage dan Coulomb Counting Pada Otoped.

- JURNAL TEKNIK MESIN*, 9(3), 429–434.  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/36659>
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2011). *Electronic devices and circuit theory*. Pearson.
- Casamayor, J., Su, D., & Ren, Z. (2018). Comparative life cycle assessment of LED lighting products. *Lighting Research & Technology*, 50(6), 801–826.  
<https://doi.org/10.1177/1477153517708597>
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage publications.
- Czerwiński, A., Wróbel, J., Lach, J., Wróbel, K., & Podsadni, P. (2018). The charging-discharging behavior of the lead-acid cell with electrodes based on carbon matrix. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 22(9), 2703–2714.  
<https://doi.org/10.1007/s10008-018-3981-4>
- Daelami, A. (2021). *Pengaruh Modifikasi Sistem Pengisian Terhadap Kinerja Sepeda Motor Yamaha Soul GT 115* [Universitas Gadjah Mada].  
<https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/195073>
- Darojad, A. I., Putra, H. S., Pratiwi, Y. R., & Akuan, A. (2024). Pengaruh Diameter serta Gulungan Terhadap Arus dan Tegangan dalam Pengisian *Fullwave* Motor Supra. *Journal of Science Nusantara*, 4(2), 65–70.  
<https://doi.org/10.28926/jsnu.v4i2.1490>
- Ghaffarinejad, A., Yavand Hasani, J., Galayko, D., & Basset, P. (2019). Superior performance of half-wave to full-wave rectifier as a power conditioning circuit for triboelectric nanogenerators: Application to contact-separation and sliding mode TENG. *Nano Energy*, 66, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104137>
- Hadiyoso, S., Ramdani, A. Z., Rohmah, Y. S., & Rizal, A. (2017). Power consumption efficiency on LED headlamp of motorcycle. *2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 384–387. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE.2017.8285533>
- Hadiyoso, S., Ramdani, A. Z., Wijayanto, I., & Rizal, A. (2019). FPGA-based led intensity controller for power consumption efficiency in motorcycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 1367(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012076>
- Irawan, A., & Tyagita, D. A. (2016). Inovasi Peningkatan Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Motor Bensin dengan Penambahan Tabung Induksi (Studi Kasus Sepeda Motor Matic 113cc). *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 16(2). <https://doi.org/10.25047/jii.v16i2.290>
- Jiang, S., & Song, Z. (2022). A review on the state of health estimation methods of lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*, 517, 230710.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230710>
- L Arliman, E Ratnawati, JSP Sihombing, VR Multiwijaya, AA Razak, *Consumer Protection Against Flight Delays Resulting from Airline Operational Failures to Provide Information Services as Part of Human Rights*, Jurnal Arena Hukum, Vol. 19. No. 1, 15-32.
- Malvino, A. P., & Bates, D. J. (2016). *Eletrônica-Vol. 2: 8ª Edição*. McGraw Hill Brasil.
- Mujib, A., Rijanto, A., & Zulfika, D. N. (2020). Analisis Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Tegangan Pengisian Baterai Pada Vario 150 cc. *Majamecha*, 2(1), 72–83.  
<https://doi.org/10.36815/majamecha.v2i1.738>
- Nuryasin, M., Aprianto, A., & Suprihadi, A. (2012). Sistem Pengisian Dan Trouble Shooting Pada Sepeda Motor Honda Astrea Grand 100 Cc Tahun 1997. *Nozzle*, 1(2), 220486. <https://www.neliti.com/publications/220486/>
- Pemerintah Pusat Indonesia. (2025). *PP No. 55 Tahun 2012*. Database Peraturan | JDIH BPK. <http://peraturan.bpk.go.id/Details/5268/pp-no-55-tahun-2012>

- Prabowo, G. A. (2018). *Analisa Modifikasi Alternator Halfwave Menjadi Fullwave Terhadap Kinerja Sistem Kelistrikan Pada Honda Supra X 125* [S1, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta].  
<http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/21929>
- Rashid, M. H. (2021). Power electronics: Devices, circuits and applications. *TIDEE: TERI Information Digest on Energy and Environment*, 20(2), 277–277.
- Rasyid, I. H. A., Arif, A., Sugiarto, T., & Setiawan, M. Y. (2024). Analisis Variasi Jenis Lampu Utama Terhadap Intensitas Cahaya Dan Arah Sinar Lampu Pada Mobil. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 2(4), 419–428.  
<https://doi.org/10.24036/jtpvi.v2i4.228>
- Sedra, A. S., Smith, K. C., Carusone, T. C., & Gaudet, V. C. (2011). *Microelectronic circuits* (Vol. 4). Oxford university press Oxford.
- Simatupang, J. W., Santoso, F. H., Bramasto, R., Afristanto, S. D., & Baheli, H. M. (2021). Lampu LED Sebagai Pilihan yang Lebih Efisien untuk Lampu Utama Sepeda Motor. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 6(1), 20–26.  
<https://doi.org/10.52447/jkte.v6i1.4434>
- Sugiarto, T., Rizal, M. A., Fernandez, D., & Arif, A. (2023). Analisis Penggunaan Beberapa Jenis Lampu Utama Sepeda Motor Terhadap Intensitas Cahaya. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(1), 133–144.  
<https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i1.14>
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sun, W.-S., Tien, C.-L., Lo, W.-C., & Chu, P.-Y. (2015). Optical design of an LED motorcycle headlamp with compound reflectors and a toric lens. *Applied Optics*, 54(28), E102–E108. <https://doi.org/10.1364/AO.54.00E102>
- Suryoatmojo, H., Anam, S., Rahmawan, Z., Asfani, D. A., Faurahmansyah, M. A., & Prabowo, P. (2022). State of Charge (SOC) Estimation on Lead-Acid Batteries Using the Coulomb Counting Method. *2022 10th International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*, 78–84.  
<https://doi.org/10.1109/ICSGCE55997.2022.9953693>
- Syaief, A. N., Ningsih, Y., & Rizqiannor, R. (2017). Perancangan Simulator Charging System Pada Sepeda Motor. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 70–75.  
<https://doi.org/10.34128/je.v4i2.50>
- Tjiptady, B. C., Fitriani, I. M., Rahman, R. Z., Zamzami, M. R. A., Zamzami, M. A., & Darmawan, K. (2024). Vespa Motorcycle Lighting Modification Using AHP System With Fullwave Ignition. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 2013–2019. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4820>
- Widjaja, R. G., Asrol, M., Agustono, I., Djuana, E., Harito, C., Elwirehardja, G. N., Pardamean, B., Gunawan, F. E., Pasang, T., Speaks, D., Hossain, E., & Budiman, A. S. (2023). State of Charge Estimation of Lead Acid Battery using Neural Network for Advanced Renewable Energy Systems. *Emerging Science Journal*, 7(3), 691–703. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-03-02>
- Yanamandra, K., Pinisetty, D., & Gupta, N. (2023). Impact of carbon additives on lead-acid battery electrodes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113078. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113078>
- Zhang, Y., Zhou, C., Yang, J., Xue, S., Gao, H., Yan, X., Huo, Q., Wang, S., Cao, Y., Yan, J., Gao, K., & Wang, L. (2022). Advances and challenges in improvement of the electrochemical performance for lead-acid batteries: A comprehensive review. *Journal of Power Sources*, 520, 230800.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230800>