

DESAIN SMART SWITCHING SYSTEM PENGISIAN BATERAI DUAL-SOURCE KINETIC ENERGY RECOVERY DAN GRID KENDARAAN LISTRIK RINGAN DENGAN ESP32 PADA WOKWI

Budi Cahyo Wibowo¹, Cagiva Stella Wiratna²

^{1,2}Universitas Muria Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59327.

*Corresponding Author: Budi.cahyo@umk.ac.id

ABSTRAK

Kendaraan listrik ringan, khususnya sepeda listrik, masih menghadapi kendala berupa keterbatasan kapasitas baterai dan ketergantungan terhadap pengisian daya dari jaringan listrik (*grid*). Pemanfaatan energi kinetik melalui alternator dapat digunakan sebagai sumber energi tambahan, namun diperlukan mekanisme pengendalian agar perpindahan sumber pengisian berlangsung secara aman, otomatis, dan tanpa mengganggu proses pengisian baterai. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan *Smart Switching System* pada sistem pengisian baterai *dual-source* yang memanfaatkan sumber energi dari alternator dan jaringan listrik. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama untuk mengatur perpindahan sumber pengisian berdasarkan kondisi ketersediaan sumber energi. Pengujian dilakukan melalui beberapa skenario, yaitu pengisian menggunakan alternator, pengisian menggunakan sumber listrik PLN, serta perpindahan otomatis ketika kondisi sumber berubah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan sumber pengisian secara otomatis tanpa mengganggu kontinuitas proses pengisian baterai. Ketika sumber PLN tersedia, sistem memprioritaskan pengisian dari jaringan listrik, sedangkan ketika sumber PLN tidak tersedia, sistem secara otomatis mengalihkan pengisian ke alternator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Smart Switching System* yang dirancang mampu meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem pengisian baterai *dual-source* pada sepeda listrik.

Kata Kunci : *Smart Switching System*, *dual-source charging*, sepeda listrik, mikrokontroler, sistem pengisian baterai.

ABSTRACT

Light electric vehicles, particularly electric bicycles, still face challenges related to limited battery capacity and dependence on grid-based charging. Kinetic energy recovery using an alternator can serve as an auxiliary energy source; however, an appropriate control mechanism is required to ensure safe and automatic transitions between charging sources without interrupting the battery charging process. This study aims to design and implement a Smart Switching System for a dual-source battery charging system utilizing an alternator and the electrical grid. The proposed system employs a microcontroller as the main controller to manage the charging source transition based on the availability of each energy source. Experimental evaluation was conducted under several operating scenarios, including charging from the alternator, charging from the grid, and automatic source switching when the charging conditions changed. The results demonstrate that the proposed system successfully performs automatic charging source transitions without interrupting the battery charging process. When the grid power is available, the system prioritizes grid-based charging; otherwise, it automatically switches to the alternator as the charging source. The proposed Smart Switching System improves the reliability and flexibility of dual-source battery charging for electric bicycles.

Keywords: Smart Switching System, dual-source charging, electric bicycle, microcontroller, battery charging system.

PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik ringan seperti sepeda listrik, mengalami peningkatan signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan moda transportasi yang efisien, ramah lingkungan, dan hemat energi [1]. Sepeda listrik banyak

digunakan baik untuk keperluan mobilitas pribadi maupun aplikasi komersial, seperti layanan penyewaan di area publik dan kawasan wisata. Dalam implementasinya, sistem penyimpanan energi berbasis baterai memegang peranan penting karena secara

langsung memengaruhi jarak tempuh dan keandalan operasional kendaraan [2]. Salah satu kendala utama pada kendaraan listrik ringan adalah keterbatasan kapasitas baterai serta ketergantungan terhadap pengisian daya dari jaringan listrik (grid). Proses pengisian dari sumber listrik eksternal membutuhkan waktu relatif lama dan tidak selalu tersedia di setiap kondisi penggunaan, sehingga dapat membatasi fleksibilitas operasional kendaraan listrik [3]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang mampu meningkatkan keberlanjutan suplai energi selama kendaraan beroperasi. Pemanfaatan energi kinetik yang dihasilkan dari pergerakan kendaraan menjadi salah satu solusi yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi tambahan. Energi mekanik dari putaran roda dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan alternator dan dimanfaatkan untuk membantu proses pengisian baterai [4]. Pendekatan ini memungkinkan kendaraan listrik memiliki lebih dari satu sumber pengisian daya, yaitu dari hasil konversi energi kinetik dan dari jaringan listrik konvensional. Dalam sistem pengisian baterai dengan lebih dari satu sumber energi, diperlukan mekanisme pengelolaan sumber daya yang tepat agar proses pengisian dapat berlangsung dengan aman dan efisien. Peralihan sumber pengisian yang tidak terkontrol berpotensi menimbulkan ketidakstabilan tegangan, arus balik, serta penurunan kinerja baterai [5]. Oleh karena itu, penerapan sistem *switching* yang mampu mengatur pemulihan sumber pengisian secara otomatis menjadi aspek penting dalam sistem pengisian baterai *dual-source*. Penelitian ini berfokus pada desain dan implementasi *smart switching system* untuk pengisian baterai kendaraan listrik ringan dengan dua sumber energi, yaitu *kinetic energy recovery* berbasis alternator dan sumber listrik dari jaringan (grid). Sistem *switching* dirancang untuk mengatur transisi antar sumber pengisian berdasarkan kondisi operasional sistem, sehingga proses pengisian baterai dapat berlangsung secara optimal dan aman. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penyajian rancangan sistem *switching* cerdas serta analisis kinerja pengisian baterai pada skema *dual-source*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam

pengembangan sistem pengisian baterai kendaraan listrik ringan yang lebih adaptif dan andal.

METODE PENELITIAN

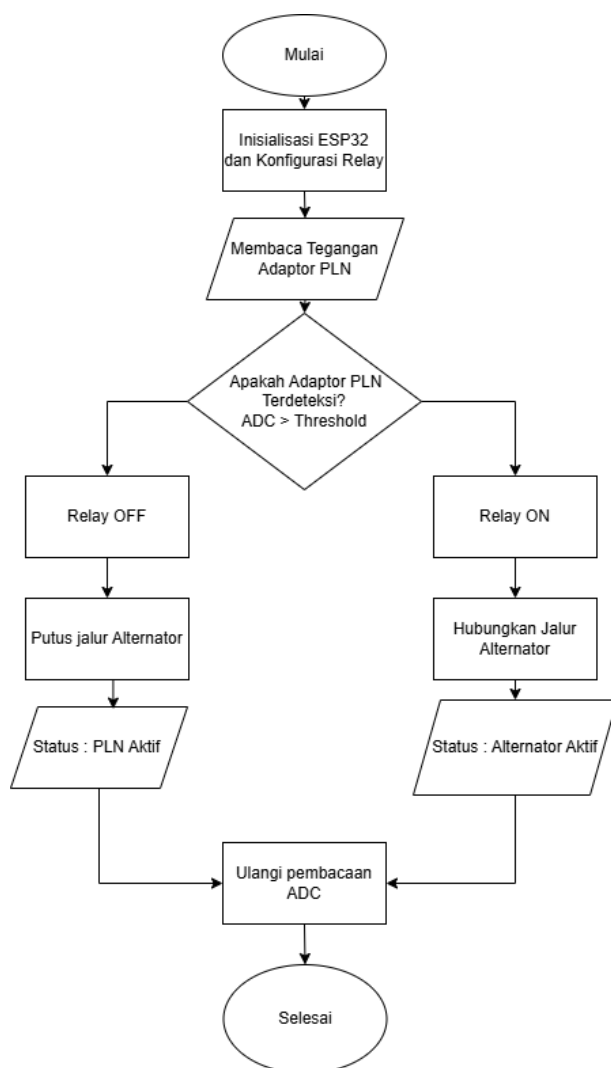
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan perancangan sistem. Fokus penelitian adalah pengembangan *Smart Switching System* yang berfungsi mengatur perpindahan sumber pengisian baterai secara otomatis pada sepeda listrik dengan dua sumber energi (*dual-source charging*), yaitu alternator sebagai sumber energi hasil konversi energi kinetik dan sumber listrik dari jaringan (*grid*). Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi sistem, dan pengujian kinerja *Smart Switching System*. Perangkat keras terdiri atas mikrokontroler sebagai pengendali utama, modul relay sebagai aktuator *switching*, alternator sebagai sumber pengisian tambahan, adaptor PLN sebagai sumber pengisian utama, serta baterai sebagai media penyimpanan energi. Perangkat lunak dirancang untuk mengendalikan logika perpindahan sumber pengisian berdasarkan kondisi ketersediaan sumber listrik.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *Smart Switching System* dalam melakukan perpindahan sumber pengisian secara otomatis. Skenario pengujian meliputi kondisi saat hanya alternator yang aktif, saat hanya sumber listrik PLN yang tersedia, serta saat kedua sumber tersedia secara bersamaan. Parameter yang diamati meliputi keberhasilan perpindahan sumber pengisian, respons sistem terhadap perubahan kondisi sumber energi, serta kontinuitas proses pengisian baterai.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif untuk menilai keberhasilan logika *switching* yang telah dirancang. Sistem dinyatakan bekerja dengan baik apabila mampu melakukan perpindahan sumber pengisian secara otomatis sesuai kondisi operasional tanpa menyebabkan gangguan pada proses pengisian baterai. Berikut Adalah tampilah Halaman utama pada Website Wokwi.



Gambar 1 Halaman Utama Wokwi



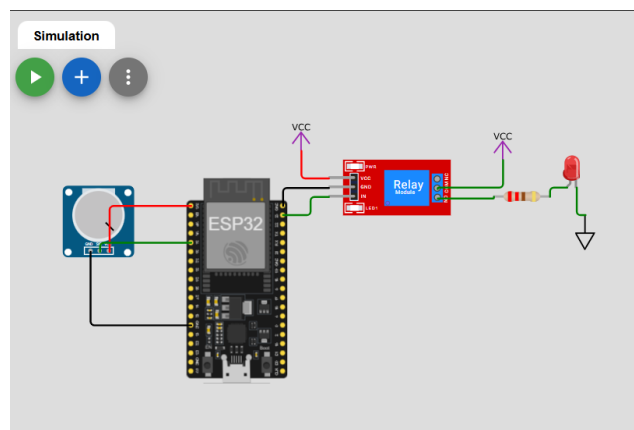
Gambar 2 Representasi Flowchart

Flowchart pada Gambar 2 menunjukkan alur kerja sistem smart switching pada pengisian baterai hybrid E-Bike. Proses diawali dengan inisialisasi ESP32 dan konfigurasi pin relay sebagai aktuatur pengalihan sumber pengisian. Pada tahap simulasi menggunakan Wokwi, keberadaan adaptor PLN direpresentasikan oleh sebuah potensiometer yang berfungsi sebagai masukan analog ke ESP32. Selanjutnya,

ESP32 membaca nilai ADC dari potensiometer yang digunakan sebagai simulasi tegangan adaptor PLN, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang (threshold) untuk menentukan keberadaan sumber pengisian dari PLN. Apabila nilai ADC melebihi threshold, sistem menganggap adaptor PLN telah terhubung sehingga ESP32 menonaktifkan relay untuk memutus jalur pengisian dari alternator dan mengaktifkan status pengisian melalui PLN. Sebaliknya, apabila nilai ADC berada di bawah threshold, sistem mengaktifkan relay sehingga jalur pengisian dari alternator tetap terhubung sebagai sumber pengisian baterai. Setelah status sistem ditentukan, proses pembacaan nilai ADC dilakukan secara berulang (looping) sehingga sistem mampu memantau perubahan kondisi sumber pengisian secara kontinu dan melakukan perpindahan sumber pengisian secara otomatis sesuai kondisi yang terdeteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rangkaian Simulasi Wokwi



Gambar 3 Rangkaian Simulasi

B. Kode Program ESP32

```

/*
  Smart Switching Hybrid Charging
  Potensiometer = Simulasi Adaptor PLN
  Relay = Jalur Alternator
*/

#define POT_PIN 34 // ADC
#define RELAY_PIN 23 // Relay
  
```

```
// Nilai ambang ADC
// ADC ESP32 = 0 - 4095
const int threshold = 2000;

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);

    // Kondisi awal
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);

    Serial.println("=== SMART SWITCHING
HYBRID CHARGING ===");
}

void loop() {

    int adcValue = analogRead(POT_PIN);

    Serial.print("ADC : ");
    Serial.println(adcValue);

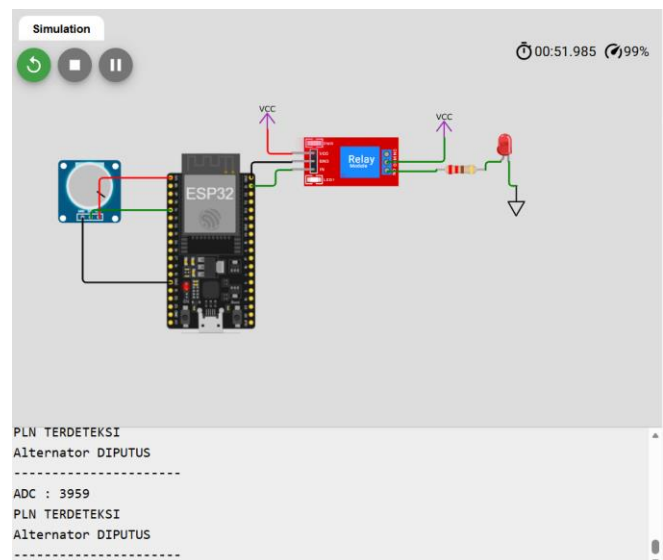
    if(adcValue > threshold)
    {
        // Ada PLN
        digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
    // Relay OFF
        Serial.println("PLN TERDETEKSI");
        Serial.println("Alternator
DIPUTUS");
    }
    else
    {
        // Tidak ada PLN
        digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
    // Relay ON
        Serial.println("PLN TIDAK ADA");
        Serial.println("Alternator
TERHUBUNG");
    }

    Serial.println("-----
--");

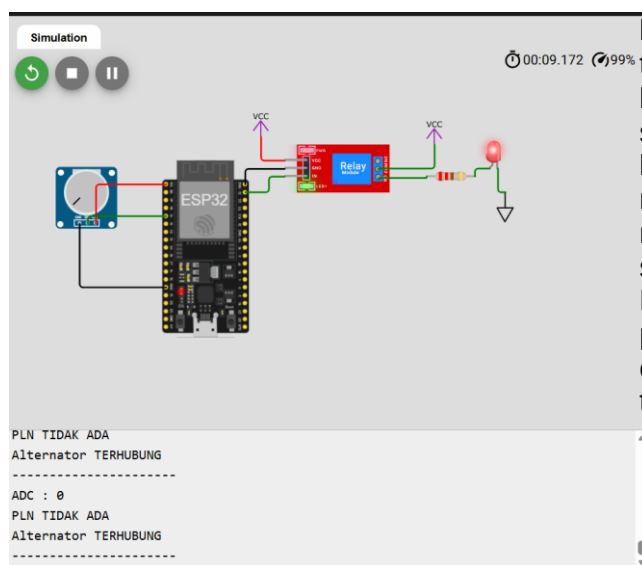
    delay(500);
}
}
```

Program yang digunakan pada sistem smart switching berfungsi untuk mengendalikan relay berdasarkan nilai masukan analog dari potensiometer yang mensimulasikan keberadaan adaptor PLN. Pada tahap awal, ESP32 melakukan inisialisasi komunikasi serial dan konfigurasi pin relay sebagai keluaran. Selanjutnya, ESP32 membaca nilai ADC dari pin potensiometer secara terus-menerus, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang (threshold) sebesar 2000. Apabila nilai ADC melebihi threshold, sistem menganggap adaptor PLN telah terhubung sehingga relay dinonaktifkan untuk memutuskan jalur pengisian dari alternator. Sebaliknya, jika nilai ADC berada di bawah threshold, sistem mengaktifkan relay sehingga jalur pengisian dari alternator tetap terhubung. Informasi mengenai nilai ADC dan status sumber pengisian ditampilkan pada Serial Monitor sebagai media pemantauan selama proses simulasi di Wokwi, sedangkan proses pembacaan dilakukan secara berulang setiap 500 ms untuk memastikan sistem dapat merespons perubahan kondisi secara real-time.

C. Hasil Simulasi



Gambar 4 Hasil Simulasi



Gambar 5 Hasil Simulasi

D. Hasil Pengujian

Berdasar Hasil simulasi yang sudah dilakukan di Wokwi di peroleh hasil sebagai berikut:

Uji	PLN	RELAY	ALTERNATOR	Hasil
1.	ON	OFF	OFF	Sesuai
2.	ON	OFF	OFF	Sesuai
3.	OFF	ON	ON	Sesuai
4.	OFF	ON	ON	Sesuai
5.	ON	OFF	OFF	Sesuai

Tabel 1 Hasil Uji

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 1, sistem smart switching berhasil bekerja sesuai dengan logika perancangan pada seluruh skenario pengujian. Pada pengujian pertama, kedua, dan kelima, saat sumber pengisian dari PLN berada dalam kondisi aktif (ON), relay berada pada kondisi OFF sehingga jalur pengisian dari alternator terputus (OFF). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem memprioritaskan penggunaan adaptor PLN sebagai sumber pengisian baterai dan mencegah alternator bekerja secara bersamaan. Sebaliknya, pada pengujian ketiga dan keempat, ketika sumber PLN tidak tersedia (OFF), relay berubah ke

kondisi ON sehingga jalur alternator kembali terhubung (ON) sebagai sumber pengisian baterai. Seluruh hasil pengujian menunjukkan status "Sesuai", yang mengindikasikan bahwa algoritma pengendalian pada ESP32 mampu mendeteksi kondisi sumber PLN dan mengendalikan relay sesuai dengan logika smart switching yang telah dirancang. Dengan demikian, sistem dapat melakukan perpindahan sumber pengisian secara otomatis antara adaptor PLN dan alternator tanpa memerlukan intervensi pengguna.

PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem Smart Switching berbasis ESP32 berhasil mengatur perpindahan sumber pengisian baterai secara otomatis antara alternator dan adaptor PLN sesuai dengan logika yang telah dirancang. Pada tahap simulasi menggunakan Wokwi, ESP32 mampu mendeteksi keberadaan sumber pengisian dari adaptor PLN melalui nilai ADC yang disimulasikan menggunakan potensiometer, kemudian mengendalikan relay untuk memutus atau menghubungkan jalur pengisian dari alternator. Seluruh skenario pengujian menunjukkan hasil yang sesuai dengan kondisi yang diharapkan, sehingga sistem mampu memastikan hanya satu sumber pengisian yang aktif pada satu waktu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsep smart switching dapat diterapkan sebagai solusi dalam sistem pengisian baterai dual-source pada kendaraan listrik ringan untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas proses pengisian.

REFERENSI

Budianto, W. C., Muladi, M., & Wirawan, I. M. (2023). Sistem pengisian baterai sepeda listrik berbasis Internet of Things (IoT). *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*.

- Dilla, B., Widi, B., Wilyanti, S., Jaenul, A., Antono, Z. M., & Pangestu, A. (2022). Implementasi *solar charge controller* untuk pengisian baterai dengan menggunakan sumber energi hybrid pada sepeda motor listrik. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2). <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.53327>
- Ilman, A. F., Humaira, F. M., Dzulkiflih, D., & Mawardi, I. (2020). Hybrid charging system management with automatic switching method. *Journal on Advanced Research in Electrical Engineering*, 4(2).
- Ismail, N. (2023). Perancangan dan pembuatan sepeda listrik pengisian daya otomatis dengan menggunakan motor DC sebagai sumber energi alternator. *Electrical Network Systems and Sources (ENTRIES)*, 3(1).
- Ma'sum, M. A., Wardani, N. W., & Silaen, D. H. (2024). Design of a charging system using an alternator to support the performance of the regenerative brake system in electric vehicle. *International Journal of Information System and Computer Science (IJISCS)*.
- Prianto, E. (2017). Pengembangan *solar panel* dan inverter sebagai alat untuk *charging* baterai pada sepeda listrik. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2). <https://doi.org/10.21831/jee.v1i2.17419>
- Prianto, E., Yuniarti, N., & Nugroho, D. C. (2020). *Boost-converter* sebagai alat pengisian baterai pada sepeda listrik secara otomatis. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1). <https://doi.org/10.21831/jee.v4i1.32632>
- .