

Sistem Monitoring Kecepatan Otoped Listrik Menggunakan Baterai LiFePO₄ sebagai Transportasi Alternatif

^{1*} Ahmad Firyal Adila, ² Rafli Maulana Abdullah, ³ Irianto, ⁴ Diah Septi Yanaratri, ⁵ Sutedjo, ⁶ Renny Rakhmawati

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

¹firyal@pens.ac.id, ²rmaulanaabdullah@gmail.com, ³irianto@pens.ac.id,

⁴diahsepti@pens.ac.id, ⁵sutedjo@pens.ac.id, ⁶renny@pens.ac.id

Article Info

Article history:

Received December 23th, 2024

Revised January 24th, 2025

Accepted February 12th, 2025

Keyword:

Autoped
 Speed monitoring system
 LiFePO₄ battery
 Campus area

ABSTRACT

Autoped has become a popular alternative in environmentally friendly urban transportation. It uses batteries as the main power source to drive their electric motors. However, efficient and optimal battery usage is essential to maintain the performance and durability of autoped. This study aims to design a speed monitoring system for autoped using LiFePO₄ batteries by considering variations in user loads. This monitoring system informs autoped drivers about the speed when used and battery usage. This electric autoped is equipped with a DC brushed motor with a specification of 24 Volt/500 Watt. The speed is measured using a metal proximity sensor that functions without direct contact, thus ensuring consistent measurements and reducing the risk of errors due to physical interaction. In addition, a load cell sensor with a maximum weight measurement of 100 kg is used to classify user's weight which is divided into three variations: 35-45 kg, 46-55 kg, and 56-65 kg. As the main energy source, this system uses a LiFePO₄ battery with a specification of 24 Volt/36 Ah. The system was tested on a flat track on the campus, where the scooters were used to support environmentally friendly mobility around the campus area. This test ensured that the designed speed monitoring system was able to provide real-time data on scooter performance based on user weight, as well as support increased efficiency of energy use.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
 All rights reserved.

Corresponding Author:

Ahmad Firyal Adila,

Department of Electrical Engineering, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
 Kampus PENS Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya.

Email: firyal@pens.ac.id

Abstrak— Otoped listrik telah menjadi alternatif yang populer dalam transportasi perkotaan yang ramah lingkungan. Otoped menggunakan baterai sebagai sumber daya utama untuk menggerakkan motor listriknya. Namun, penggunaan baterai yang efisien dan optimal sangat penting untuk menjaga kinerja dan daya tahan otoped. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring kecepatan otoped listrik menggunakan baterai LiFePO₄ dengan mempertimbangkan variasi beban pengguna. Sistem monitoring ini memberikan informasi kepada pengendara otoped tentang kecepatan saat digunakan dan penggunaan baterai. Otoped ini dilengkapi dengan motor DC *brushed* dengan spesifikasi 24 Volt/500 Watt. Kecepatan otoped diukur menggunakan sensor *proximity metal* yang berfungsi tanpa kontak langsung, sehingga memastikan pengukuran yang konsisten dan mengurangi risiko kesalahan akibat interaksi fisik. Selain itu, sensor *load cell* dengan rentang pengukuran maksimum 100 kg digunakan untuk memantau berat pengguna yang dibagi dalam tiga rentang variasi: 35-45 kg, 46-55 kg, dan 56-65 kg. Sebagai sumber energi utama, sistem ini menggunakan baterai LiFePO₄ dengan spesifikasi 24 Volt/36 Ah. Sistem ini diuji di lintasan datar pada kampus PENS, dimana otoped digunakan untuk mendukung mobilitas yang ramah lingkungan di sekitar area kampus. Pengujian ini memastikan bahwa sistem monitoring kecepatan yang dirancang mampu memberikan

data yang *real-time* terkait kinerja otoped berdasarkan berat pengguna, serta mendukung peningkatan efisiensi penggunaan energi.

I. Pendahuluan

Saat ini, otoped atau skuter listrik telah menjadi alternatif yang populer dalam transportasi perkotaan yang ramah lingkungan [1]. Otoped menggunakan baterai sebagai sumber daya utama untuk menggerakkan motor listriknya [2]. Namun, penggunaan baterai yang efisien dan optimal sangat penting untuk menjaga kinerja dan daya tahan otoped [3]. Dalam penggunaan otoped, variasi berat pengguna menjadi faktor kunci yang mempengaruhi konsumsi energi baterai. Berbagai faktor seperti berat badan pengendara, kecepatan, medan yang dilalui, dan gaya mengendarai, semuanya berkontribusi pada penggunaan baterai yang berbeda [4]. Oleh karena itu, didesain sebuah sistem monitoring yang menyediakan informasi penggunaan baterai pada otoped dengan mempertimbangkan variasi beban pengguna [5][6].

Sistem monitoring ini akan memberikan informasi yang berguna kepada pengendara otoped tentang seberapa efisien penggunaan baterai mereka dan berapa kecepatan yang bisa diberikan oleh motor pada masing-masing variasi berat dari pengguna. Dengan memahami bagaimana variasi berat pengguna mempengaruhi penggunaan energi, pengendara dapat mengoptimalkan gaya mengendarai mereka untuk menghemat energi, meningkatkan jarak tempuh, dan memperpanjang umur baterai [7].

Pengujian di lingkungan kampus memastikan efisiensi dan kestabilan operasional otoped untuk penggunaan jangka panjang tanpa gangguan. Sistem monitoring yang diuji di kampus ini dirancang untuk meningkatkan mobilitas dengan memberikan data kinerja otoped berdasarkan variasi berat pengguna dalam penggunaan sehari-hari. Fokus utama uji coba adalah integrasi efektif antara motor, sensor, dan baterai, yang bekerja secara harmonis untuk mendukung mobilitas praktis dan efisien di area kampus.

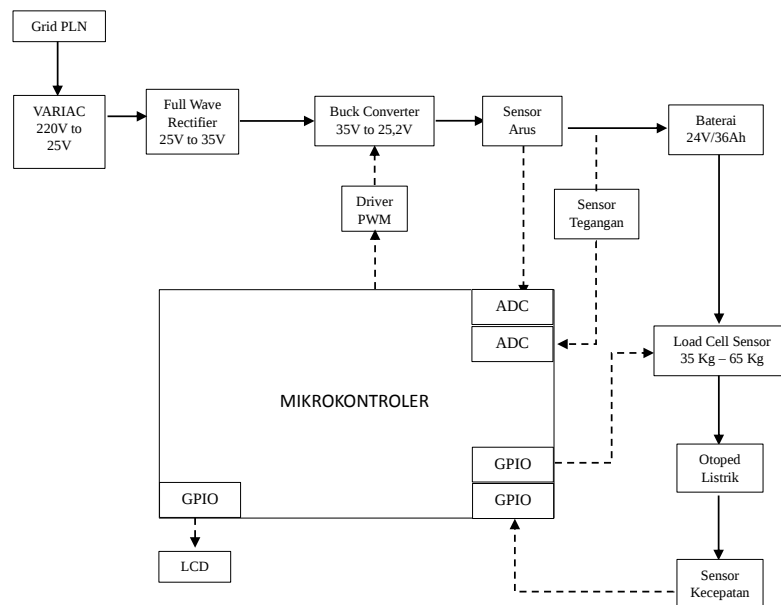
Selain manfaat bagi pengendara, sistem monitoring ini juga memiliki implikasi penting dalam pengembangan otoped yang lebih efisien. Dengan memperoleh data penggunaan baterai dari berbagai variasi beban pengguna, produsen otoped dapat mengidentifikasi area yang dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kinerja otoped mereka [8]. Hal ini akan berkontribusi pada pengembangan teknologi otoped.

II. Metode Penelitian

A. Blok Diagram Sistem

Perancangan sistem monitoring meliputi pembuatan blok diagram sistem yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dapat terlihat bahwa pengerjaan penelitian ini pada lingkup blok diagram. Pengerjaan sistem terdapat pokok pembahasan yaitu monitoring kecepatan dengan variasi berat pengguna saat otoped digunakan. Sistem kerja dari rangkaian *battery charging* menggunakan sumber dari jala jala PLN 220 Vac yang akan diturunkan dengan variac sebesar 25 Vac dan akan diubah dari AC ke DC dengan *uncontrolled fullwave rectifier* 1 phasa menjadi 35 Vdc. Tegangan tersebut akan diturunkan menggunakan *buck converter* menjadi sebesar 29,2 Vdc sesuai tegangan *charging* baterai. Lalu pada rangkaian *charging* baterai juga menggunakan Mikrokontroler ARM STM32F407VGT6 yang berfungsi sebagai pusat pengolah sistem, yaitu sebagai pembangkit PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk *duty cycle* pada *buck converter*, pengolah data sensor arus, dan sensor tegangan.

Pada sistem otoped digunakan sensor berat badan untuk menentukan *switch* pada *starter* motor tertutup atau terbuka dengan membatasi berat badan yang akan menaikinya. Setelah sesuai dengan berat yang ditentukan, maka *switch* pada *starter* akan menyala dan tinggal menekan tombol *starter* untuk menjalankan otoped. Kecepatan otoped tergantung seberapa berat orang yang menaikinya, semakin berat orang yang menaiki maka kecepatan otoped akan semakin lambat, begitupun sebaliknya. Maka dari itu, proses monitoring kecepatan dilakukan untuk membandingkan tiga variasi beban pengguna sebagai subjek penelitian.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Monitoring Kecepatan Otoped

B. Sensor Load Cell

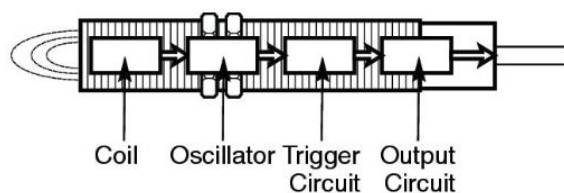
Load cell adalah sebuah alat uji perangkat listrik yang dapat mengubah suatu energi menjadi energi lainnya yang biasa digunakan untuk mengubah suatu gaya menjadi sinyal listrik. Perubahan dari satu sistem ke sistem lainnya ini tidak langsung terjadi dalam dua tahap saja tetapi harus melalui tahap-tahap pengaturan mekanikal, kekuatan dan energi dapat merasakan perubahan kondisi dari baik menjadi kurang baik. *Output* dari pemantauan perubahan kondisi dapat ditingkatkan untuk menghitung gaya yang diterapkan untuk perbaikan dan pemantauan kondisinya. Berbagai jenis beban yang ada termasuk sel/slot beban hidrolik.



Gambar 2. Sensor Load Cell 100 kg

C. Proximity Metal (Induktif)

Sensor *proximity metal* merupakan sensor yang dapat mendeteksi objek logam. Pendeteksian tersebut dilakukan tanpa harus menyentuh objek logam tersebut. Sensor ini terdiri dari inti ferrit (*coil*), sebuah osilator dan detektor pemicu sinyal serta rangkaian keluaran dari sensor tersebut. Struktur bagian dari sensor *proximity* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Sensor Proximity Induktif

Prinsip kerja dari sensor *proximity* induktif dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi perubahan bentuk gelombang elektromagnetik tersebut saat sensor mendeteksi logam dan akan

menghasilkan *output* yang selanjutnya akan diproses oleh kontroler. Sensor akan mendeteksi objek logam pada jarak tertentu sesuai spesifikasi dari sensor tersebut. Saat sensor mendeteksi keberadaan objek logam maka akan terjadi perubahan bentuk sinyal yang mengakibatkan hilangnya energi dan mengakibatkan amplitudo yang kecil pada osilasi sehingga akan memicu *trigger circuit* dan memberikan *output* pada sensor.

Tabel 1. *Datasheet Sensor Proximity LJ12A3-4-Z/BX*

No	Parameter	Value
1	Output	NPN, Wire, No (Normal Open)
2	Work voltage	0 VDC – 36 VDC
3	Output current	300 mA
4	Size	DIA 12 mm L : 64 mm (Body)
5	Cable length	100 cm
6	Detection range	4 mm
7	Detection of object	Metal (Copper, Iron, Aluminium, etc)

Sensor proximity metal dalam penelitian ini dirancang untuk mendeteksi kecepatan otoped. Berdasarkan flowchart, sensor ini diinisialisasi setelah sistem diaktifkan, diikuti dengan pengecekan data untuk memastikan fungsionalitas yang tepat. Perencanaan mencakup pemilihan sensor induktif karena kemampuannya mendeteksi logam dengan akurat tanpa kontak fisik. Algoritma dimulai dengan menangani interupsi pada pin GPIO yang terhubung ke sensor. Setiap kali terjadi interupsi dan sensor mendeteksi objek, sebuah variabel hitungan (*counter*) akan berubah satu. Pada interval waktu tertentu, dalam hal ini setiap 1 detik (1000 ms), sistem akan menghitung rotasi per menit (rpm) dari putaran roda yang dideteksi (rps * 60). Langkah selanjutnya pengukuran diameter roda ban belakang yang digunakan untuk perhitungan kecepatan km/jam. Gambar 4 menunjukkan pengukuran diameter roda belakang otoped yang dipasang sensor *proximity* untuk monitoring kecepatan.



Gambar 4. Pengukuran Diameter Roda Belakang

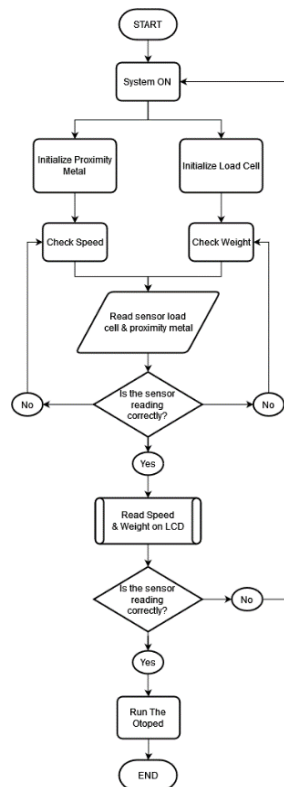
- Pengukuran Diameter
Diameter = Diameter Roda
= 300 mm
- Perhitungan Keliling Lingkaran
Keliling Lingkaran = Diameter $\times \pi$ (3.1)
= $300 \times 3,14$
= 942 mm

- Pehitungan Kecepatan
Kecepatan dihitung menggunakan rumus
$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{rpm} \times \text{keliling lingkaran} \times 60 \text{ (menit ke jam)}}{1.000.000 \text{ (mm ke km)}}$$
 (3.2)

D. Perancangan Software

Perencanaan perangkat lunak sistem ini adalah berupa perancangan program *monitoring* kecepatan dan berat badan untuk pengguna saat menaiki otoped. Sistem monitoring ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kecepatan pada otoped antar variabel berat yang diuji yaitu 35kg – 45kg; 46kg – 55kg; dan 56kg –

65kg. Untuk monitoring berat menggunakan sensor *load cell*, selain untuk memonitoring berat badan juga bertujuan untuk melakukan *cut-off* suplai ke motor saat berat badan yang dibaca berada di bawah dari yang diuji yaitu <35Kg dan di atas berat badan yang diuji yaitu >65Kg.



Gambar 5. Flowchart Perancangan Software

Berdasarkan *flowchart* di atas, bisa dijelaskan bahwa sistem ini dimulai dari mengaktifkan sistem, inisialisasi sensor *proximity metal* dan *load cell*, hingga pengecekan kecepatan dan berat pengguna. Setelah data dari sensor dibaca, sistem memverifikasi apakah sensor bekerja dengan benar dan memastikan pembacaan data akurat. Jika semuanya berfungsi dengan baik, data kecepatan dan berat pengguna ditampilkan pada layar LCD, dan otoped dapat dioperasikan. Proses ini berakhir setelah memastikan bahwa sistem bekerja dengan benar dan aman.

E. Baterai LiFePO₄

Pada otoped listrik yang dirancang menggunakan baterai LiFePO₄ 24V 36Ah sebagai penyimpan energi. Keunggulan baterai ini adalah aman, ringan, mempunyai *life cycle* panjang dan *power back-up* yang besar [9]. Berikut tabel spesifikasi baterai yang digunakan.

Tabel 2. Data Parameter Baterai LiFePO₄

No	Parameter	Value
1	Operating voltage	25,6 V
2	Charging Voltage	29,2 V
3	End of discharge	22,4 V
4	Max. Charge Current	18 A
5	Max. Discharge Current	40 A
6	Cell	8S3P

Gambar 6. Baterai LiFePO₄ 24V/36Ah pada Otoped

III. Hasil dan Pembahasan

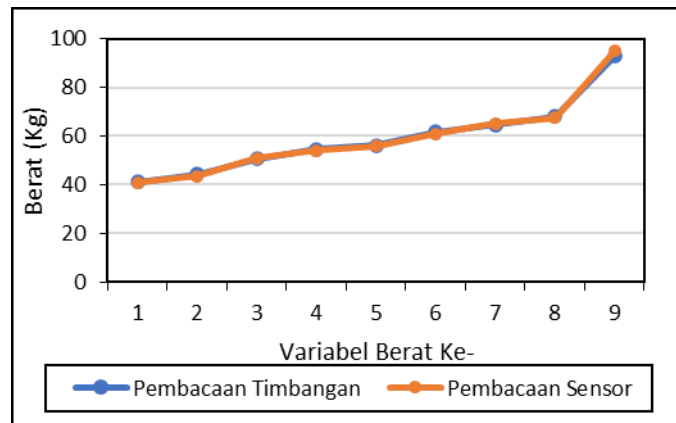
A. Pengujian Sensor Load Cell

Metode pengujian dilakukan pada setiap perangkat keras seperti pengujian pada *load cell*. Proximity metal, driver MOSFET, *buck converter*, sensor tegangan, dan sensor arus. Pengujian *load cell* bertujuan untuk mengetahui keluaran dari sinyal *load cell* dan membandingkannya dengan *datasheet load cell*. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari sinyal *load cell* menggunakan alat ukur. Tegangan input dari *load cell* diberi tegangan sebesar 10V dengan tegangan eksitasinya 20 mV/V. Hal ini berarti tegangan keluaran maksimal dari sinyal *load cell* pada pengujian ini adalah 20 mV, sehingga jika *load cell* yang digunakan memiliki skala pengukuran sebesar 100 Kg, maka untuk menghitung tegangan keluaran per kilonya dapat dihitung menggunakan perhitungan 20 mV dibagi dengan 100 Kg. Hasil dari perhitungan tersebut adalah 2 mV/Kg. Hasil perhitungan tersebut dijadikan acuan untuk pengukuran.

Tabel 3. Pengujian *Load Cell* terpasang di otoped

Rated Output (mV)	Kapasitas Loadcell (Kg)	Pembacaan Analog (mV)	Tampilan Timbangan Asli (Kg)	Pembacaan Sensor (Kg)	Perhitungan Berat Teori (mV)	Error (%)
Variasi 1 (Berat 35 Kg - 45 Kg)						
20	100	8,2	41,2	41,0	8,24	0,49%
20	100	8,7	44,3	43,5	8,86	1,84%
Variasi 2 (Berat 46 Kg - 55 Kg)						
20	100	10,2	50,7	51,0	10,14	0,59%
20	100	10,8	54,6	54,0	10,92	1,11%
Variasi 3 (Berat 56 Kg - 65 Kg)						
20	100	11,2	56,2	56,0	11,24	0,36%
20	100	12,2	61,7	61,0	12,34	1,15%
20	100	13,0	64,6	65,0	12,93	0,54%
Data Berat di atas 65 Kg						
20	100	13,5	67,9	67,5	13,58	0,59%
20	100	19,0	92,7	95,0	18,54	2,42%

Pada Tabel 3 telah dilakukan pengambilan data dengan beberapa variasi berat badan. Dari pengujian tersebut persentase *error* antara sensor *load cell* dengan pembacaan timbangan sebesar 0,35% - 2,42%.

Gambar 7. Grafik Perbandingan Pembacaan *Load Cell* dan Timbangan

Grafik di atas menunjukkan perbandingan error pembacaan antara sensor *load cell* dan timbangan. Pada pengujian tersebut perbandingan pembacaan antara sensor *load cell* dan timbangan memiliki *error* yang kecil dengan *error* maksimum sebesar 2,42%. Oleh karena itu, pada grafik tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara pembacaan sensor *load cell* dan timbangan.

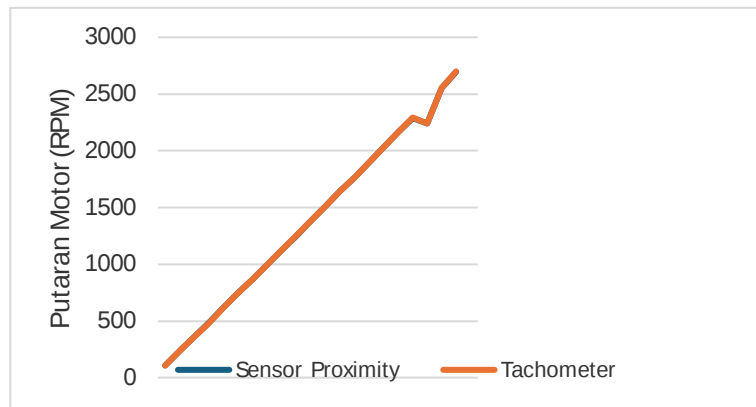
B. Pengujian Sensor Proximity Metal

Pengujian *proximity metal* bertujuan untuk mengetahui keakuratan pembacaan sensor dengan pembandingnya adalah pembacaan alat ukur tachometer. Motor yang diukur adalah DC *brushed motor* 24V 500 Watt dengan *rated speed* 2650 rpm.

Tabel 4. Pengujian *Proximity Metal*

Input Sensor (V)	Output GPIO (V)	Pembacaan Sensor (rpm)	Pembacaan Tachometer (rpm)	Error Sensor (%)
5	0	109	109,9	0,85%
5	0	239	238,9	0,04%
5	0	362	361,7	0,08%
5	0	487	481,9	1,05%
5	0	617	617,7	0,11%
5	0	745	746,2	0,16%
5	0	866	866,5	0,06%
5	0	995	995,4	0,04%
5	0	1126	1126	0,00%
5	0	1250	1252	0,16%
5	0	1378	1378	0,00%
5	0	1506	1508	0,13%
5	0	1643	1643	0,00%
5	0	1765	1765	0,00%
5	0	1898	1898	0,00%
5	0	2027	2028	0,05%
5	0	2161	2161	0,00%
5	0	2289	2291	0,09%
5	0	2243	2243	0,00%
5	0	2553	2555	0,08%
5	0	2697	2699	0,07%

Pada Tabel 3 telah dilakukan pengambilan data sensor *proximity* lalu dibandingkan dengan pembacaan tachometer. Dari pengujian tersebut persentase *error* antara sensor *proximity* dengan pembacaan tachometer sebesar 0% - 0,826%.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Sensor Proximity dan Tachometer

Grafik di atas menunjukkan perbandingan error pembacaan antara sensor *proximity* dan tachometer. Pada pengujian tersebut perbandingan pembacaan antara sensor *proximity* dan tachometer memiliki error yang kecil dengan error maksimum sebesar 0,826 %. Oleh karena itu, pada grafik tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara pembacaan sensor *proximity* dan tachometer.

C. Pengujian Uncontrolled Full-Wave Rectifier

Pengujian *Rectifier* satu fasa bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dari rectifier. *Rectifier* digunakan untuk menyearahkan arus AC keluaran dari transformator menjadi arus DC.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Uncontrolled Full-Wave Rectifier* Satu Fasa

Vin (V)	Vout Trafo (V)	Vo Rectifier (V)	Vout Teori (V)	Error (%)
224	26,45	35,5	35,35	0,004

Berdasarkan tabel di atas, pengujian *rectifier* memperoleh tegangan input dari jala-jala 220 Vac yang kemudian masuk ke variac kemudian diturunkan tegangannya menjadi 26,45 Vac. Tegangan keluaran trafo masuk ke *rectifier* yang disearahkan menggunakan dioda bridge 10 A dan menghasilkan keluaran 35,5 Vdc.

D. Pengujian Buck Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *buck converter* yang telah direncanakan dapat berfungsi sebagai penurun tegangan dengan sebagaimana mestinya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan input konstan 35 Volt dan memvariasikan *duty cycle* sebanyak 7 sampel, yaitu dari 0,2 sampai dengan 0,83 atau 20% sampai 83%. Data pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 6. Pengujian *Buck Converter*

Duty (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vo (V)	Io (A)	Pin (W)	Po (V)	Eff (%)
0,2	35,01	0,07	6,60	0,06	2,58	2,11	81,74
0,3	35,01	0,17	10,04	0,49	5,85	4,92	84,14
0,4	35,01	0,28	13,50	0,66	9,89	8,98	90,80
0,5	35,01	0,44	17,03	0,84	15,38	14,30	93,01
0,6	35,01	0,63	20,48	1,00	22,07	20,48	92,79
0,7	35,01	0,85	24,01	1,18	29,90	28,33	94,75
0,83	35,01	1,20	28,59	1,42	42,07	40,60	96,50

E. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan cara memberi tegangan input pada sisi input sensor kemudian nilai tegangan *output* sensor didapat dari rangkaian pembagi tegangan [10]. ADC dari mikrokontroler menggunakan 12-bit sehingga nilai ADC maksimal adalah 4095. Terdapat dua sensor tegangan yang akan digunakan pada sistem yakni sensor tegangan pada *output rectifier* serta sensor tegangan pada *output buck converter*.

Tabel 7. Pengujian Sensor Tegangan Output Rectifier

Vin (V)	Vo Teori (V)	Vo Praktik (V)	Error Vo (%)	Vout LCD (V)	Error Vout LCD (%)
1,03	0,09	0,09	1,11%	1,02	0,87%
2,00	0,17	0,16	1,53%	2,00	0,05%
3,04	0,25	0,25	1,55%	3,03	0,33%
4,03	0,34	0,33	1,60%	4,04	0,15%
5,01	0,42	0,41	1,62%	5,02	0,16%
6,00	0,50	0,49	1,63%	5,99	0,20%
7,00	0,58	0,58	1,50%	7,00	0,00%
8,02	0,67	0,66	1,59%	8,02	0,00%
9,02	0,75	0,74	1,51%	9,02	0,00%
10,00	0,83	0,82	1,61%	10,00	0,00%
11,01	0,92	0,90	1,60%	11,00	0,09%
12,02	1,00	0,99	1,53%	12,01	0,08%
13,10	1,09	1,07	1,55%	13,10	0,00%
14,00	1,17	1,15	1,55%	14,00	0,00%
15,04	1,25	1,23	1,57%	15,03	0,07%
16,00	1,33	1,31	1,56%	16,00	0,00%
17,01	1,42	1,40	1,52%	17,01	0,00%
18,01	1,50	1,48	1,50%	18,02	0,06%
19,03	1,59	1,56	1,50%	19,03	0,00%
20,02	1,69	1,64	1,50%	20,00	0,10%
21,03	1,75	1,73	1,47%	21,01	0,10%
22,08	1,84	1,81	1,47%	22,06	0,09%
23,06	1,92	1,89	1,44%	23,06	0,00%
24,01	2,00	1,97	1,44%	24,00	0,04%
25,00	2,08	2,05	1,41%	25,00	0,00%
26,01	2,17	2,14	1,36%	26,01	0,00%
27,00	2,25	2,22	1,38%	27,01	0,04%
28,00	2,33	2,30	1,34%	28,01	0,04%
29,08	2,42	2,39	1,29%	29,10	0,07%
30,07	2,51	2,47	1,31%	30,09	0,07%
31,080	2,59	2,56	1,27%	31,11	0,10%
32,010	2,68	2,63	1,26%	32,05	0,12%
33,050	2,75	2,72	1,24%	33,10	0,15%
34,020	2,84	2,80	1,20%	34,08	0,18%
35,090	2,92	2,89	1,20%	35,16	0,20%

Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan didapatkan besar *error* pengujian tidak lebih dari 0,87% sehingga hasil pengambilan data menunjukkan performa yang baik dengan hasil *error* yang rendah.

Tabel 8. Pengujian Sensor Tegangan *Output Buck Converter*

Vin (V)	Vo Teori (V)	Vo Praktik (V)	Error Vo (%)	Vout LCD (V)	Error Vout LCD (%)
1,06	0,12	0,12	0,85%	1,06	0,19%
2,04	0,23	0,25	0,10%	2,04	0,20%
3,06	0,34	0,34	0,45%	3,06	0,10%
4,08	0,45	0,45	0,66%	4,07	0,15%
5,04	0,56	0,56	0,71%	5,03	0,16%
6,01	0,67	0,66	0,76%	6,00	0,13%
7,02	0,78	0,77	0,76%	7,02	0,00%
8,04	0,89	0,89	0,81%	8,04	0,00%
9,02	1,00	0,99	0,78%	9,02	0,00%
10,00	1,11	1,10	0,81%	10,00	0,00%
11,03	1,23	1,22	0,86%	11,02	0,09%
12,05	1,34	1,33	0,92%	12,04	0,08%
13,02	1,45	1,43	0,93%	13,01	0,08%
14,00	1,56	1,54	0,88%	14,00	0,00%
15,02	1,67	1,65	0,89%	15,01	0,07%
16,03	1,78	1,76	0,91%	16,01	0,12%
17,04	1,89	1,88	0,92%	17,02	0,12%
18,02	2,00	1,98	0,86%	18,00	0,11%
19,01	2,11	2,09	0,82%	18,99	0,11%
20,01	2,22	2,20	0,82%	20,00	0,05%
21,06	2,34	2,32	0,81%	21,04	0,09%
22,06	2,45	2,43	0,78%	22,05	0,05%
23,08	2,56	2,54	0,84%	23,06	0,09%
24,04	2,67	2,65	0,87%	24,03	0,04%
25,09	2,79	2,76	0,82%	25,09	0,00%
26,06	2,90	2,87	0,78%	26,06	0,00%
27,01	3,00	2,98	0,77%	27,01	0,00%
28,13	3,13	3,10	0,72%	28,13	0,00%
29,04	3,23	3,20	0,76%	29,04	0,00%

Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan didapatkan besar *error* pengujian tidak lebih dari 0,2% sehingga hasil pengambilan data menunjukkan performa yang baik dengan hasil *error* yang relatif rendah.

F. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus bertujuan untuk mengetahui apakah sensor yang telah dibuat sudah dapat menunjukkan hasil yang sesuai dengan input. Diawali dengan melakukan kalibrasi terlebih dahulu. Dalam melakukan kalibrasi diperlukan beberapa alat seperti multimeter untuk pembacaan tegangan dan arus, *power supply* DC, serta beban resistor. Beban resistor yang digunakan dalam pengujian kalibrasi ini adalah 10 Ω .

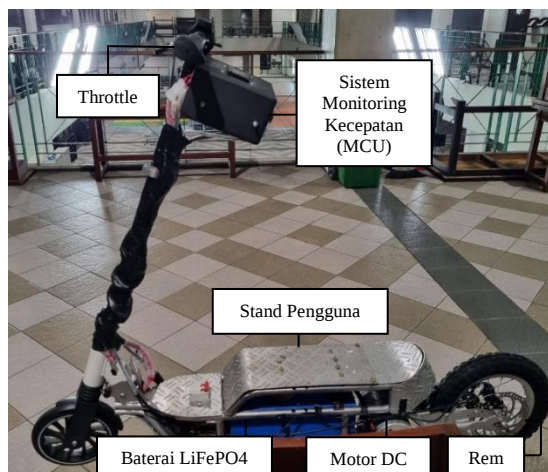
Tabel 9. Pengujian Sensor Arus 1 dan Sensor Arus 2

Sensor Arus 1			Sensor Arus 2		
I_{AVO} (A)	I_{LCD} (A)	Error (%)	I_{AVO} (A)	I_{LCD} (A)	Error (%)
0,20	0,23	15,00%	0,20	0,21	5,00%
0,40	0,42	5,00%	0,40	0,41	2,50%
0,60	0,62	3,33%	0,60	0,60	0,00%
0,80	0,82	2,50%	0,80	0,80	0,00%
1,00	1,03	3,00%	1,00	1,00	0,00%
1,20	1,22	1,67%	1,20	1,20	0,00%
1,40	1,42	1,43%	1,40	1,40	0,00%
1,60	1,62	1,25%	1,60	1,60	0,00%
1,80	1,83	1,67%	1,80	1,80	0,00%
2,00	2,03	1,50%	2,00	2,00	0,00%
2,20	2,22	0,91%	2,20	2,20	0,00%
2,40	2,4	0,00%	2,40	2,40	0,00%
2,60	2,62	0,77%	2,60	2,60	0,00%
2,80	2,83	1,07%	2,80	2,80	0,00%
3,00	3,01	0,33%	3,00	3,00	0,00%

Dari perbandingan antara pembacaan alat ukur dan pembacaan pada LCD maka dapat dihitung nilai persentase error dari sensor arus sebesar 0% - 5%.

G. Pengujian Sistem Monitoring Otoped

Pengujian secara *close loop* dilakukan dengan menyalakan sistem penggerak otoped dan dilakukan dengan pemantauan melalui lcd monitor untuk *real-time* kecepatan dan berat pengemudi. Kemudian dapat dilakukan dengan menyertakan subjek berat pengguna otoped dengan beberapa variabel berat yang ditentukan yaitu antara 35 – 45Kg; 46 – 55Kg; dan 56 – 65 Kg.



Gambar 9. Bentuk Fisik Otoped Listrik

Pada percobaan ini dipasang *controller motor DC* 500 Watt yang bertujuan untuk mengatur arus keluaran dari motor DC yang digunakan sebagai penggerak otoped. Penggunaan *controller motor DC* sangat disarankan karena *controller motor* mampu menjalankan motor DC dengan lancar. Motor penggerak dapat bekerja dengan baik saat dinyalakan, hanya saja sedikit panas pada bagian *body controller*. Dalam pengujian ini, monitoring sudah dapat bekerja untuk memonitoring berat, kecepatan, dan rotasi dari motor DC penggerak otoped.



Gambar 10. Tampilan LCD Saat Sistem Monitoring Otored Bekerja

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil *range* berat badan setiap variabel yang ditentukan. Untuk variabel 1 diwakili dengan berat 41 Kg; untuk variabel 2 diwakili dengan berat 52 Kg; dan untuk variabel 3 diwakili dengan berat 65 Kg.

Tabel 10. Pengujian Integrasi Close Loop dengan Sistem Monitoring

Berat (Kg)	Jarak Tempuh (Meter)	Waktu Tempuh (Detik)	Kecepatan Teori (Km/Jam)	Monitoring Kecepatan (Km/Jam)	Monitoring Berat (Kg)	Error Kecepatan (%)	Error Berat (%)
Variasi 1 (Berat 35 Kg - 45 Kg)							
41,2	70	15,95	15,79	16	40	0,01%	2,91%
Variasi 2 (Berat 46 Kg - 55 Kg)							
50,7	70	18,31	13,76	14	51	1,74%	0,59%
54,6	70	18,92	13,31	13	55	2,32%	0,73%
Variasi 3 (Berat 56 Kg - 65 Kg)							
56,2	70	20,14	12,51	12	56	4,07%	0,35%
61,7	70	24,56	10,27	10	61	2,62%	1,13%
64,65	70	26,02	9,69	9	64	7,12%	1,01%

Dari pengujian yang telah dilakukan, seperti data didapatkan *error* pada sensor kecepatan dalam rentang 1,74% - 7,66%, lalu pada sensor berat didapatkan *error* antara pembacaan LCD dengan alat ukur dalam rentang 0,59% - 2,91%.

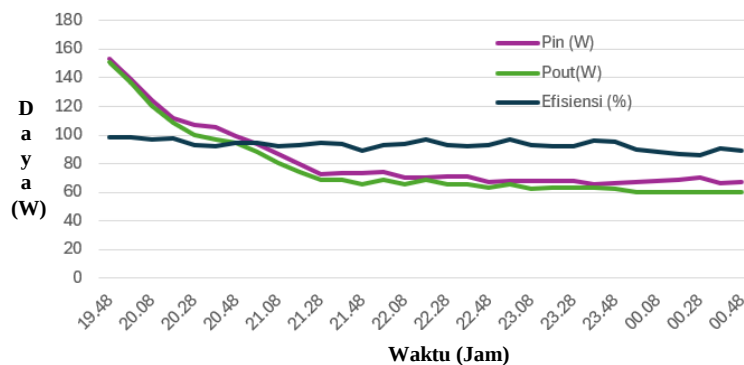
H. Pengujian Charging Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengisi baterai dengan SOC awal sekitar 80 % yang direpresentasikan dengan tegangan awal baterai sebesar 26,64 V. Tegangan yang digunakan untuk *charging* sebesar 28,6 V. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian integrasi *charging* yang dimulai dari pukul 19.48 sampai jam 00.48 dengan pengambilan data setiap 10 menit sekali. Dalam konteks pariwisata hijau, ketersediaan otored listrik merupakan layanan yang diapresiasi oleh pelanggan, tetapi penerapannya yang efisien memerlukan penempatan stasiun pengisian daya di lingkungan yang kemungkinan terpencil dan non-perkotaan [11].

Tabel 11. Pengujian Charging Baterai LiFePO₄

Jam	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout(W)	Efisiensi (%)
19.48	33,32	4,6	28,54	5,3	153,27	151,26	98,69
19.58	33,97	4,1	28,58	4,8	139,28	137,18	98,50
20.08	34,44	3,6	28,60	4,2	123,98	120,12	96,88
20.18	34,89	3,2	28,60	3,8	111,65	108,68	97,34
20.28	35,76	3,0	28,57	3,5	107,28	99,99	93,21
20.38	36,41	2,9	28,58	3,4	105,59	97,17	92,03
20.48	36,89	2,7	28,60	3,3	99,60	94,38	94,77
20.58	37,44	2,5	28,59	3,1	93,60	88,63	94,69
21.08	37,81	2,3	28,60	2,8	86,96	80,08	92,08

21.18	38,07	2,1	28,57	2,6	79,95	74,28	92,91
21.28	38,28	1,9	28,60	2,4	72,73	68,64	94,37
21.38	38,49	1,9	28,58	2,4	73,13	68,59	93,79
21.48	38,70	1,9	28,60	2,3	73,53	65,78	89,46
21.58	38,91	1,9	28,60	2,4	73,93	68,64	92,85
22.08	39,07	1,8	28,60	2,3	70,33	65,78	93,53
22.18	39,23	1,8	28,56	2,4	70,61	68,54	97,07
22.28	39,39	1,8	28,57	2,3	70,90	65,71	92,68
22.38	39,55	1,8	28,60	2,3	71,19	65,78	92,40
22.48	39,67	1,7	28,60	2,2	67,44	62,92	93,30
22.58	39,79	1,7	28,56	2,3	67,64	65,69	97,11
23.08	39,91	1,7	28,56	2,2	67,85	62,83	92,60
23.18	40,03	1,7	28,60	2,2	68,05	62,92	92,46
23.28	40,15	1,7	28,60	2,2	68,25	62,92	92,18
23.38	40,75	1,6	28,57	2,2	65,20	62,85	96,40
23.48	41,35	1,6	28,56	2,2	66,16	62,83	94,97
23.58	41,95	1,6	28,62	2,1	67,12	60,10	89,54
00.08	42,55	1,6	28,60	2,1	68,08	60,06	88,21
00.18	43,15	1,6	28,60	2,1	69,04	60,06	86,99
00.28	43,75	1,6	28,60	2,1	70,00	60,06	85,80
00.38	44,35	1,5	28,60	2,1	66,52	60,06	90,28
00.48	44,95	1,5	28,60	2,1	67,42	60,06	89,07

Gambar 11. Grafik Pengisian Daya pada Baterai LiFePO₄

Pengujian *charging* yang dilakukan untuk baterai LiFePO₄ sebesar 24V 36Ah selama 5 jam didapatkan bahwa integrasi sistem sudah berjalan dengan baik dengan efisiensi *buck converter* rata-rata sebesar 96,20%. Tegangan baterai setelah dilakukan *rest time* selama 30 menit menjadi sebesar 27,54 V sekitar SOC 100%. Efisiensi rata-rata yang tercapai pada saat pengisian daya sebesar 93,10%.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari proses pengujian, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Hasil pengujian dari sensor *load cell* yang telah dikalibrasi dan terintegrasi secara *close loop* mendapatkan nilai *error* yang kecil dari 0,35% sampai 2,91% sehingga pada pembacaannya hampir mendekati nilai berat sebenarnya.

2. Hasil pengujian sensor *proximity* saat integrasi *close loop* mendapatkan nilai *error* 1,74 - 7,66 %. Saat pengujian secara *close loop* dengan pengambilan data per detik, didapatkan pada variasi beban 1 (berat pengguna 35kg – 45kg) nilai *error* antara sensor *proximity* dengan alat ukur sebesar 4,98%. Pada variasi beban 2 (berat pengguna 46kg – 55kg) nilai *error* antara sensor *proximity* dengan alat ukur sebesar 5,33%. Kemudian pada variasi beban 3 (berat pengguna 56kg – 65kg) nilai *error* antara sensor *proximity* dengan alat ukur sebesar 3,09%.
3. Pengujian charging baterai LiFePO₄ sebesar 24V 36Ah menggunakan *uncontrolled full wave rectifier* dari 25Vac menjadi 35Vdc lalu dihubungkan ke *buck converter* untuk menurunkan tegangan menjadi tegangan charging sebesar 28,6V. Setelah dilakukan *charging* selama 5 jam didapatkan bahwa sistem telah berjalan dengan baik dan dapat menaikkan tegangan baterai dari tegangan awal sebesar 26,64V menjadi tegangan sebesar 27,54V.

V. Daftar Pustaka

- [1] Schelte, N., Severengiz, S., Schünemann, J., Finke, S., Bauer, O. and Metzen, M., "Life cycle assessment on electric moped scooter sharing," *Sustainability*, 13(15), p.8297. 2021. doi.org/10.3390/su13158297
- [2] H. W. Putra, "Smart Automatic Scooter : Implementasi Skuter Otomatis Berbasis Smart Safety Dalam Berkendara," *Proyek Akhir, PENS*, 2020.
- [3] M. Rifa'i, "Rancang Bangun Battery Charger dengan Metode Constant Current Constant Voltage untuk Sepeda Listrik," *Proyek Akhir, PENS*, 2020.
- [4] B. Nainggolan, F. Inaswara, G. Pratiwi, and H. Ramadhan, "Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisi Baterai," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 15, no. 3, Mar. 2017.
- [5] A. D. Tarigan, P. Wibowo, and A. S. Tarigan, "Perancangan Otoped Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Media Transportasi," *Proceeding Seminar Nasional Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 7–12, Sep. 2022.
- [6] G. D. A. P. Dantes, K. R. Dantes, and G. W. Widayana, "PENGARUH VARIASI PEMBEBANAN TERHADAP TORSI, DAYA DAN DEPTH OF DISCHARGE (DOD) PADA PROTOTIPE SCOOTER PORTABLE (E-GASPOL)," *repo.undiksha.ac.id*, Aug. 01, 2023
- [7] S. G. Tidargo, A. Rusdinar, and P. Wibawa, "Perancangan Dan Implementasi Smart Otoped Electric," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 3, Dec. 2018.
- [8] B. A. Bayuprakoso, M. Munadi, and P. Paryanto, "ANALISIS ESTIMASI STATE OF CHARGE BATERAI LI-ION BERBASIS OPEN CIRCUIT VOLTAGE DAN COULOMB COUNTING PADA OTOPEL," *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 9, no. 3, pp. 429–434, Jul. 2021.
- [9] Sinuraya, A., Sinaga, D.H. and Simamora, Y., "Analysis of LiFePO₄ Battery Size, Capacity, and Charging in Electric Vehicles with BLDC Motor Drive." *Proceedings of the 4th International Conference on Innovation in Education, Science and Culture, ICIESC Medan, Indonesia*. December 2022.
- [10] A. F. Adila, I. Sudiharto, M. M. Rifadil, E. Wahjono, M. Z. Efendi, Y. C. Arif, *Pengukuran Listrik dan Instrumentasi*, Deepublish, Yogyakarta, 2024.
- [11] Corti, F., Iacono, S. D., Astolfi, D., Pasetti, M., Vasile, A., Reatti, A., & Flammini, A. A comprehensive review of charging infrastructure for Electric Micromobility Vehicles: Technologies and challenges. *Energy Reports*, 12, 545-567. 2024.