

Desain dan Implementasi Sistem Instrumentasi Sepeda Motor Listrik serta Uji Coba Kinerjanya

Nurhadi Dharmaputra Permata Adi¹ dan Agus Ulinuha²
^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Kota Surakarta 57169
e-mail: nurhadidpa@gmail.com

Abstrak—Sepeda motor listrik menjadi pilihan paling praktis untuk jarak dekat sampai menengah dengan kapasitas penumpang sampai dengan dua orang. Sepeda motor listrik merupakan jenis peralatan transportasi yang kinerja operasionalnya perlu dipantau secara *realtime* menggunakan sistem instrumentasi. Pada penelitian ini diimplementasikan sistem instrumentasi sepeda motor listrik yang akan memantau tingkat kapasitas energi pada baterai, suhu dan penggunaan energi pada baterai sebagai sumber energi utama sepeda motor listrik, serta menghitung estimasi jarak tempuh, kecepatan kendaraan dan torsi yang dihasilkan pada motor listrik. Sistem dirancang dengan NodeMCU sebagai kontroler utama dan menggunakan ADS1115 sebagai *transducer* antara sensor dengan kontroler. Kapasitas sumber energi utama diketahui dari pengukuran tingkat tegangan baterai menggunakan rangkaian pembagi tegangan dan arus yang mengalir diukur dengan sensor arus ACS-758. Untuk mengetahui laju kecepatan kendaraan digunakan sensor *proximity* yang akan mendeteksi putaran roda penggerak utama, kemudian suhu baterai diukur dengan menggunakan sensor suhu LM35. Hasil pengukuran sistem instrumentasi akan ditampilkan melalui LCD grafik 128x64 piksel pada konsol kemudi utama, kemudian di verifikasi dengan alat ukur standard sehingga diketahui nilai selisihnya. Pada penelitian ini didapatkan nilai selisih terbesar pengukuran tegangan 0.19 volt, pengukuran arus 0.439A, pengukuran suhu 0.7°C dan pengukuran putaran kecepatan sebesar 0.9 rpm.

Kata kunci: *sepeda motor listrik, sistem instrumentasi, kinerja, operasi realtime, verifikasi*

Abstract—Electric motorcycle is a transportation device where its real-time operating conditions needs to be monitored using an instrumentation system. In this study, an instrumentation system is developed to monitor battery capacity level, current, temperature and energy consumption of electric motor, as well as to calculate the estimated mileage, vehicle speed and torque of prime mover. The system is designed with NodeMCU as main controller and uses ADS1115 as a transducer between the sensor and controller. The capacity of energy source is known from measuring the battery voltage level using a voltage divider circuit and the current flowing is measured with the ACS-758 current sensor. To determine the speed of the motorcycle, a proximity sensor is used to detect the rotation of the wheel. The battery temperature is measured using the LM35 temperature sensor. The measurement results are displayed in a 128x64 pixel graphic LCD attached in the main steering console. The figures are verified with standard meter to determine the deviation with those given by the meter. In this study, it was recorded the maximum deviation of the voltage is 0.19 volts, current is 0.439A, temperature is 0.7°C and rotation speed is 0.9 rpm. These deviations are small confirming that the developed instrumentation system is sufficiently accurate.

Keywords: *electric motorcycle, instrumentation system, performance, operation in realtime, verified*

I. PENDAHULUAN

Kendaraan menjadi salah satu sarana transportasi yang membantu kehidupan manusia. Kendaraan yang berada di sekitar kita saat ini secara umum masih menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi penggerak utama. Pada perkembangan teknologi di masa depan kendaraan transportasi berbasis bahan bakar tersebut akan ditinggalkan karena menghasilkan berbagai dampak negatif bagi lingkungan. Diantaranya adalah polusi udara karena menggunakan bahan bakar maka gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan konvensional mengandung senyawa

hidrokarbon yang tidak dapat diurai secara langsung oleh alam, sehingga juga berpotensi menyebabkan pencemaran langsung pada saluran air ataupun tanah yang akan merusak lingkungan [3].

Selanjutnya kendaraan berbasis bahan bakar fosil akan digantikan oleh kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber energi utama dan motor listrik sebagai sumber penggeraknya. Peringkat pertama atau lebih dari 70% populasi masyarakat di negara maju yang memiliki kendaraan listrik mendasarkan pertimbangannya untuk membeli kendaraan listrik karena dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar dan lebih dari 40%

diantara pengguna kendaraan listrik tersebut dapat menurunkan biaya pengeluaran untuk operasional dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar fosil [1]. Perkembangan industri kendaraan listrik di Indonesia sudah mulai digalakan dari tahun 2020 sampai 2035 sesuai dengan aturan pemerintah perindustrian [4]. Sampai saat ini sudah banyak jenis kendaraan listrik yang diperjual belikan baik dalam bentuk unit suatu kendaraan listrik, sepeda listrik, *scooter* listrik atau bahkan hanya dalam bentuk skala kecil seperti perangkat konverter sepeda listrik. Sepeda listrik ataupun perangkat konverter sepeda listrik umumnya telah memiliki sistem instrumentasi untuk memantau sumber energi baterai dan kecepatan, akan tetapi ada juga sepeda listrik yang hanya memiliki indikator baterai dalam bentuk sinyal lampu tanpa menunjukkan suatu parameter akurat tertentu.

II. STUDI PUSTAKA

Kendaraan listrik merupakan peralatan transportasi dengan menggunakan energi listrik. Dalam rangka mengoptimalkan kinerja operasionalnya, diperlukan pemantauan penggunaan energinya secara *real time* [8]. Alat berbasis instrumentasi yang berfungsi sebagai dasbor untuk kendaraan bermotor sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya yang mengimplementasikan dasbor dalam bentuk tampilan digital melalui ponsel android yang menampilkan suhu dan putaran mesin serta kecepatan kendaraan [7]. Selanjutnya pernah dilakukan penelitian mengenai alat instrumentasi mobil listrik yang dirancang dalam skala prototipe berbasis pada Arduino nano sebagai kontroler, sensor arus ACS712 dengan penyimpangan tertinggi 1.83 ampere, sensor kecepatan menggunakan magnet A3144 dengan penyimpangan tertinggi 94 rpm dan menggunakan tampilan karakter *Liquid Crystal Display* (LCD) 20x4 [6].

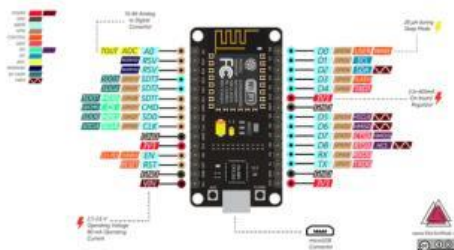
Pada penelitian dibahas tentang akusisi data sistem instrumentasi yang ditampilkan melalui tampilan LCD berjenis *Thin-Film-Transistor* (TFT) kemudian data tersebut tersimpan secara lokal pada perangkat penyimpanan kartu *microSD* [9]. Mengacu pada sejumlah penelitian sebelumnya, pada studi ini dilakukan pengembangan sistem instrumentasi yang lebih akurat untuk kendaraan listrik khususnya sepeda motor listrik.

III. METODE

A. Tahapan Persiapan

Sejumlah piranti yang digunakan dalam sistem ini meliputi:

1. Mikrokontroler, menggunakan mikrokontroler NodeMCU berbasis ESP8266 yang memiliki bentuk fisik kompak dan memiliki total 16 pin *input-output*. Pada pengembangannya untuk pemrograman ESP8266 dapat dilakukan dengan perangkat lunak dari Arduino dengan menambahkan *library* pada *board manager*. Gambar 1 menunjukkan pemetaan pin pada mikrokontroler ESP8266.



Gambar 1. Fitur dan Pemetaan Pin Pada ESP8266 (ElectroPeak, 2019).

2. Tampilan antarmuka pengguna menggunakan LCD grafik 128x64 piksel berbasis ST7920. Penggunaan modul ini lebih fleksibel karena dapat dengan bebas mendesain tata letak tampilan instrumentasi selain itu karena ukurannya yang relatif besar sehingga memudahkan pengguna dalam aplikasinya.
3. Modul penyimpanan data diperlukan untuk menyimpan parameter data kendaraan listrik. Untuk itu diperlukan tambahan suatu sistem memori yang bersifat permanen sehingga parameter data dapat tetap tersimpan ketika perangkat pada kondisi *off*. Dengan penggunaan modul DS3231N yang telah terintegrasi dengan *chip* eeprom AT24C04N maka akan memberikan fitur tambahan dimana modul instrumentasi akan memiliki data waktu serta memiliki memori penyimpanan permanen berbasis *chip* EEPROM.
4. Modul *transducer* berfungsi mengkonversi data sensor menjadi data digital untuk dikomunikasikan dengan mikrokontroler. Modul dirancang dari ADS1115 yang memiliki empat masukan analog (A0-A4) dan dapat dioperasikan menjadi tiga jenis operasi, yaitu mode komparator, differensial dan *single ended*. Gambar 2 menunjukkan modul ADS1115 dengan konfigurasi pin. ADS1115 dapat bekerja dari rentang tegangan kerja 2V sampai 5.5V DC, ADS1115 akan merubah data analog yang masuk menjadi data digital 15-bit, kemudian pada bagian keluarannya (SCL dan SDA) data tersebut akan dikomunikasikan dengan protokol I²C.



Gambar 2. Fisik dan Konfigurasi Pin Modul ADS1115 (Components101, 2021).

5. Untuk mendapatkan parameter daya listrik pada kendaraan listrik diperlukan dua jenis sensor, yaitu sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus menggunakan modul berbasis *chip* ACS758-050 yang memiliki kemampuan pembacaan sampai 50A sedangkan sensor tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Sensor tegangan salah satu sensor utama yang berperan penting untuk menentukan kondisi kapasitas baterai. Kondisi kapasitas baterai atau *State of Charge* (SOC) baterai dalam suatu sistem dipresentasikan dalam bentuk tegangan [4]. Gambar 3 menunjukan modul ACS758-050 yang dipakai pada penelitian ini. ACS758-050 membaca arus yang mengalir dari sumber baterai, kemudian arus tersebut akan diolah dengan metode perhitungan *Ampere Hour* (AH) untuk menentukan penyerapan arus dari baterai selama sepeda listrik dioperasikan [7].



Gambar 3. Modul Sensor ACS758-050

6. Sensor suhu diperlukan untuk mengukur tingkat temperatur baterai. Pada penggunaan jenis baterai *lead-acid* jika baterai digunakan pada suhu diatas 35°C, maka

proses reaksi kimia yang terjadi pada baterai akan lebih cepat dan daya tahan baterai menurun drastis sehingga baterai cepat rusak [12]. Dengan menggunakan sensor analog berbasis *chip* LM-35 yang menghasilkan tegangan analog sebesar sepuluh mV untuk setiap satu derajat *celcius*.

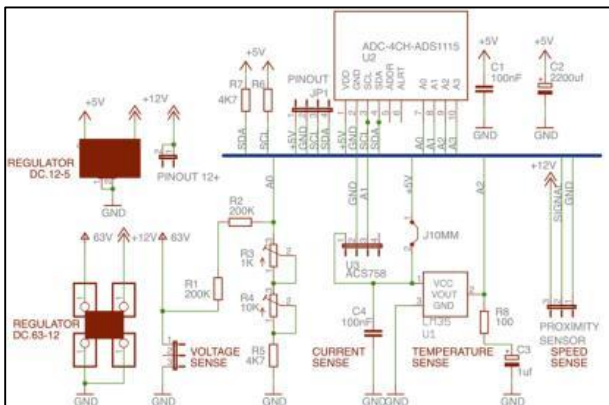
7. Untuk menentukan kecepatan aktual kendaraan digunakan sensor *proximity* bertipe induktif. Sensor *proximity* dengan kode LJ12A3-4-Z-BX merupakan sensor dengan *grade* industri yang memiliki kemampuan respon sampai 500Hz serta tingkatan *ingress protection* (IP) 65. Sensor ini bekerja dengan rentang tegangan enam sampai 36V DC dan memiliki indikator LED pada bagian belakang sensor untuk mengetahui ketika sensor menerima trigger picu. Gambar 4 menunjukkan fisik dari sensor yang digunakan pada penelitian ini.



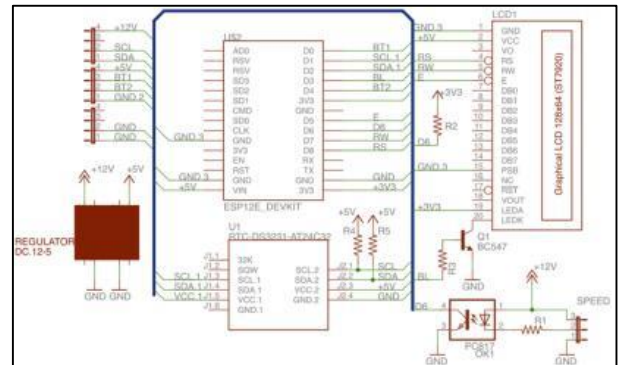
Gambar 4. Sensor Kecepatan

B. Desain Implementasi Rangkaian

Tahapan implementasi terbagi menjadi dua, yaitu pembuatan rangkaian dan pemasangan pada kendaraan listrik. Implementasi awal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak EAGLE 7.3 untuk membuat skematik diagram rangkaian, kemudian skematik tersebut diubah menjadi jalur pada papan sirkuit. Papan sirkuit modul terbagi menjadi dua, yaitu papan sirkuit kontroler dan papan sirkuit *transducer*. Desain skematik rangkaian sensor dan *transducer* dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan rangkaian kontroler dan tampilan sistem instrumentasi ditujukan pada Gambar 9. Tahapan akhir dari implementasi adalah melakukan perakitan alat pada sepeda motor listrik sehingga sistem instrumentasi dapat digunakan secara nyata. Ilustrasi perakitan alat pada kendaraan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 8. Rangkaian Skematik Sensor dan *Transducer*.



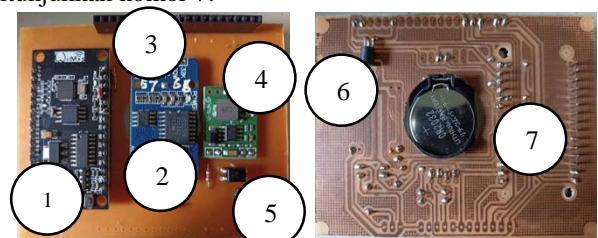
Gambar 9. Skematik Rangkaian Kontroler dan Tampilan Sistem Instrumentasi.

Gambar 10. Ilustrasi Perakitan Alat Pada Kendaraan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perangkat Keras

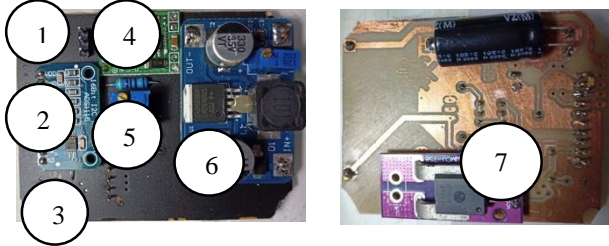
Perangkat keras bagian kontroler yang ditunjukkan pada gambar 11. Perangkat keras kontroler akan dipasang pada bagian kemudi sepeda motor listrik. Bagian ini terdiri dari NodeMCU ditunjukkan nomor 1, modul DS3231N ditunjukkan nomor 2, *header* pin untuk modul tampilan grafik LCD ditunjukkan nomor 3, regulator tegangan rendah sebagai suplai sumber daya utama ditunjukkan nomor 4, konverter sinyal kecepatan ditunjukkan nomor 5. Pada bagian bawah modul kontroler ini terdapat saklar elektronik yang digunakan untuk menyalakan dan mematikan lampu latar ditunjukkan nomor 6, serta baterai sebagai sumber tenaga modul DS3231N ketika kendaraan posisi OFF ditunjukkan nomor 7.



Gambar 11. Perangkat Keras Rangkaian Kontroler.

Sedangkan perangkat keras kedua yaitu bagian *transducer* terletak terpisah dari bagian kontroler dan dipasang sedekat mungkin dengan sumber baterai karena terhubung langsung dengan beberapa sensor. Perangkat keras modul ini dapat dilihat pada gambar 12. Dalam satu papan sirkuit terdiri dari beberapa koneksi sensor, yaitu nomor 1 merupakan *header* pin koneksi sensor kecepatan dan nomor 3 menunjukkan letak koneksi sensor suhu LM-35. Kemudian beberapa modul yang terpasang pada papan sirkuit ini antara lain nomor 2 adalah modul ADS1115, nomor 4 modul regulator tegangan rendah, nomor 5 sensor tegangan yang

disusun dari hambatan pembagi tegangan presisi, nomor 6 adalah regulator sensor tegangan tinggi yang digunakan untuk sensor kecepatan. Sedangkan pada bagian bawah papan sirkit ditunjukkan oleh nomor 7 terpasang sensor arus ACS758-050 yang akan membaca arus dari baterai. Penyambungan antar modul dan sensor menggunakan konektor tipe Mini *Deutsches Institut für Normung* (DIN) 8 pin dan pada konektor sensor menggunakan Mini DIN 4 pin.



Gambar 12. Perangkat Keras Modul *Transducer*.

B. Hasil Uji Kalibrasi Sensor

Tabel hasil pengujian sensor instrumentasi dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian sensor dilakukan di Laboratorium dengan menggunakan *adjustable power supply* dan alat peraga kendaraan listrik dengan spesifikasi 48V/350W, kemudian hasil dari percobaan dibandingkan dengan multimeter dan *tachometer*. Dari hasil pengujian didapatkan selisih kesalahan terbesar pada sensor tegangan sebesar 0.19volt sedangkan selisih kesalahan terkecil nol volt. Selisih kesalahan sensor arus terhadap alat ukur terbesar bernilai 0.439 ampere dan selisih kesalahan paling rendah nol ampere. Pada pengujian sensor *proximity* terhadap *tachometer* diperoleh selisih kesalahan tertinggi di angka 0.9 rpm dan selisih kesalahan terendah sebesar 0.4 rpm.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Sistem Instrumentasi.

No	Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)		Putaran (Rpm)		Selisih Kesalahan		
	Mo	Alat	Mo	Alat	Mo	Alat	Tega	Ar	Put
	dul	Ukur	dul	Ukur	dul	Ukur	ngan	us	aran
1	53.00	53.800	8.100	8.030	13.5	132.9	0.03	0.07	0.5
2	53.88	53.900	8.200	8.090	15.0	154.1	0.02	0.11	0.7
3	53.99	54.100	7.700	8.090	16.8	169.2	0.11	0.39	0.8
4	54.09	54.100	8.300	8.080	22.8	229.6	0.01	0.22	0.8
5	54.15	54.200	8.100	8.090	28.8	289.1	0.05	0.01	0.8

No	Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)		Putaran (Rpm)		Selisih Kesalahan		
	Mo	Alat	Mo	Alat	Mo	Alat	Tega	Ar	Put
	dul	Ukur	dul	Ukur	dul	Ukur	ngan	us	aran
1	53.77	53.800	8.100	8.030	13.9	132.4	0.03	0.07	0.5
2	53.88	53.900	8.200	8.090	15.3	154.1	0.02	0.11	0.7
3	53.99	54.100	7.700	8.090	16.8	169.2	0.11	0.39	0.8
4	54.09	54.100	8.300	8.080	22.8	229.6	0.01	0.22	0.8
5	54.15	54.200	8.100	8.090	28.8	289.1	0.05	0.01	0.8

Selanjutnya untuk pengujian sensor suhu LM35 dilakukan secara terpisah dengan menggunakan pembanding multimeter SANWA CD772 yang memiliki pilihan selektor suhu dengan sensor berjenis *thermocouple*. Dokumentasi metode pengujian suhu dapat dilihat pada Gambar 14. Pengujian dilakukan pada skala lab dengan tahapan memanaskan pin sensor, kemudian dilakukan pembacaan sensor ketika suhu sensor turun secara alami. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran sensor LM35, terdapat selisih kesalahan terbesar 0.7°C dan selisih kesalahan terendah 0.04°C.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu.

No.	Waktu Ambil Data	Alat Ukur (°C)	Keluaran LM35	Suhu LM35 (°C)	Selisih Kesalahan (°C)
1	3:42	43.7	0.435V	43.5	-0.2
2	4:00	40.7	0.401V	40.1	-0.6
3	4:02	40.5	0.398V	39.8	-0.7
4	4:04	40.1	0.396V	39.6	-0.5
5	4:06	39.8	0.394V	39.4	-0.4
6	4:26	37.4	0.372V	37.2	-0.2
7	4:46	35.8	356.4mV	35.64	-0.16
8	9:24	29.6	295.4mV	29.54	-0.06
9	9:34	29.4	293.6mV	29.36	-0.04
10	9:40	29.5	294.2mV	29.42	-0.08



Gambar 14. Dokumentasi Metode Kalibrasi Sensor Suhu LM35.

Konversi pembacaan data tegangan (2) NodeMCU dari modul ADS1115 menggunakan persamaan berikut:

$$Volt0 = \frac{(nilai\ digital \times 0.1875)}{1000} \quad (1)$$

$$Vbat = \frac{Volt0}{Radjust} \quad (2)$$

Dimana:

Volt0 = Nilai tegangan riil yang masuk pada pin ADS1115 jalur ke-0 setelah melalui resistor pembagi.

0.1875 = Resolusi konversi nilai analog terhadap nilai digital untuk setiap bit data, karena *chip* ADS1115 diset pada penguatan dua per tiga.

Vbat = Nilai riil baterai.

Radjust = nilai rasio perbandingan perubahan nilai tegangan maksimum yang masuk ke sistem terhadap nilai maksimal baterai sepeda motor listrik.

Konversi pembacaan arus (5) pada sistem instrumentasi menggunakan persamaan:

$$Volt1 = \frac{((nilai\ digital - calib) \times 0.1875)}{1000} \quad (3)$$

$$Vacs = Volt1 - offset \quad (4)$$

$$Current = \frac{Vacs}{0.0133} \quad (5)$$

Dimana:

Volt1 = Nilai tegangan riil yang masuk pada pin ADS1115 jalur ke-1, merupakan nilai tegangan terhadap konversi arus dari sensor ACS758.

calib = Variable program untuk membuat kondisi 0 pada saat tidak ada arus yang mengalir.

0.1875 = Resolusi konversi nilai analog terhadap nilai digital untuk setiap bit data, karena *chip* ADS1115 diset pada penguatan dua per tiga.

Vacs = Variabel yang digunakan untuk menentukan arus.

offset = Bernilai 0.5*Vdd. Karena pada tipe ACS758-050B ketika arus yang mengalir sama dengan nol maka keluaran *chip* akan bernilai setengah Vdd suplai.

Current = Nilai arus riil yang mengalir pada sensor.

0.0133 = Resolusi deteksi sensor arus setiap 1 Ampere sebesar 0.0133 V

Perhitungan putaran jumlah putaran roda dilakukan dengan mengkonversikan kecepatan roda (6) terlebih dahulu. Cara ini diambil dengan pertimbangan rendahnya tingkat frekwensi ketika kendaraan dikendarai dengan kecepatan rendah serta untuk meningkatkan tingkat ketelitian instrument.

$$V = \frac{D \times \pi \times t}{duration} \quad (6)$$

Pada persamaan lain turunan dari kecepatan adalah:

$$V = \frac{3600}{1000} \times r \times \omega \quad (7)$$

$$V = \frac{3600}{1000} \times r \times 2\pi \times \frac{N}{60} \quad (8)$$

$$V = \frac{3}{25} \times \pi \times r \times N \quad (9)$$

$$N = \frac{25}{3 \times \pi \times r} \times V \quad (10)$$

Dimana:

V = Kecepatan kendaraan dalam satuan km/jam.

π = Nilai konstanta dalam matematika (3.14159265358979323846).

D = Diameter roda sepeda motor listrik (40 cm).

t = Faktor konversi waktu antara jam dan detik (3600).

duration = Durasi lebar pulsa yang dihitung oleh NodeMCU.

r = Jari jari roda sepeda motor listrik (20 cm).

ω = Kecepatan sudut angular dalam satuan radian per detik.

N = Kecepatan putaran roda dalam satuan rotasi per menit.

C. Hasil Uji Coba Riil

Pengujian dilakukan pada kondisi riil di jalan raya dengan rute yang bervariasi dan cara berkendara yang bervariasi. Tampilan awal utama LCD menampilkan kecepatan kendaraan, kapasitas baterai, estimasi jarak tempuh dan keluaran daya yang ditunjukkan dengan ilustrasi *bar graph*. Hasil pengujian kecepatan kendaraan terhadap perangkat navigasi ditunjukkan oleh Tabel 3. Dari persamaan yang digunakan untuk menentukan kecepatan (6) terhadap pembanding alat navigasi didapatkan selisih tertinggi bernilai 2.86 km/jam dan selisih terkecil bernilai 0.08 km/jam.

Tabel 3. Tabel Uji Kecepatan Terhadap Perangkat Navigasi

Waktu	Instrument	Navigasi	Selisih Kesalahan
12/18/21-8:36:24	7.08	6.77	0.31
12/18/21-8:37:08	13.81	14.47	0.66
12/18/21-8:38:59	22.65	22.32	0.33
12/18/21-8:40:17	5.98	8.10	2.12
12/18/21-8:44:04	30.19	30.31	0.12
12/18/21-8:44:28	33.99	33.77	0.22
12/18/21-8:44:54	22.26	22.18	0.08
12/18/21-8:45:09	30.21	28.76	1.45
12/18/21-8:45:30	24.96	22.10	2.86
12/18/21-8:47:25	31.57	32.47	0.90

Dari pengukuran arus, tegangan dan putaran roda yang sudah dilakukan, maka didapatkan parameter daya (11) dan torsi (14) pada sepeda motor listrik yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = V \times I \times \eta \quad (11)$$

Untuk mendapatkan nilai torsi maka persamaan daya pada unit lain sesuai dengan:

$$P = \tau \times \omega \quad (12)$$

$$P = \tau \times 2\pi \times r \times N \quad (13)$$

$$\tau = \frac{P}{2\pi \times N} \quad (14)$$

Dimana:

P = Daya motor yang dikeluarkan dalam satuan watt.

V = Nilai tegangan nominal baterai dalam satuan volt.

I = Nilai arus yang mengalir dari baterai dalam satuan ampere.

η = Faktor efisiensi motor nilai 0.75.

τ = Nilai torsi motor dalam satuan Newton meter.

- ω = Kecepatan sudut angular motor dalam radian per detik.
 N = Kecepatan putar motor dalam satuan rotasi per detik.

Persamaan kapasitas baterai yang ditunjukkan dalam tingkat tegangan baterai dikonversikan dengan persamaan:

$$y = (b1 - b0) \times \frac{x - a0}{a1 - a0} + b0 \quad (15)$$

Dimana:

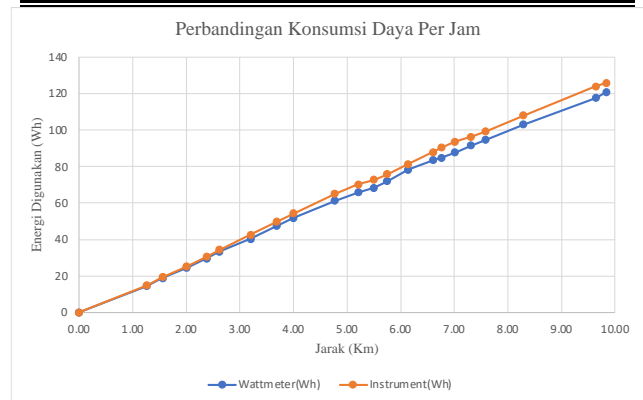
- y = Nilai konversi kapasitas baterai.
 x = Nilai tegangan baterai.
 $a0$ = Batas bawah nilai tegangan baterai.
 $a1$ = Batas atas nilai tegangan baterai.
 $b0$ = Batas bawah nilai kapasitas baterai.
 $b1$ = Batas atas nilai kapasitas baterai.

Tabel 4 menunjukkan hasil pembacaan dari pengujian riil pada konsumsi daya sepeda motor listrik berdasarkan jarak tempuh dan dibandingkan dengan alat ukur Wattmeter untuk mengetahui total energi yang digunakan serta menggunakan perangkat navigasi untuk membandingkan jarak. Dari pengujian sejauh 9.84 kilometer diambil pengambilan data 21 kali secara acak. Didapatkan selisih penggunaan arus per jam paling tinggi sebesar 0.026Ah dan paling rendah sebesar 0.001Ah. Selisih penggunaan energi paling besar sebesar 6.46Wh dan paling rendah 0.43Wh. Selama pengujian berlangsung terukur suhu baterai tertinggi berada pada temperatur 33.3°C. Gambar 15 menunjukan grafik dari hasil pengujian pada parameter konsumsi daya per jam dan perubahan suhu pada baterai.

Tabel 4. Hasil Pengujian Konsumsi Energi Dengan Pembandingan Alat Ukur.

Alat Ukur			Instrument			
Jarak-Km	Ah	Wh	Jarak-Km	Suhu-°C	Ah	Wh
0.00	0.00	0	0.00	32.60	0.00	0.00
1.26	0.307	14.3	1.28	30.50	0.303	14.73
1.56	0.402	18.7	1.58	32.90	0.398	19.37
2.00	0.525	24.3	2.02	33.10	0.523	25.16
2.38	0.640	29.6	2.40	33.10	0.641	30.53
2.62	0.720	33.3	2.64	33.10	0.726	34.35
3.20	0.877	40.3	3.23	33.00	0.886	42.53
3.68	1.032	47.3	3.72	33.10	1.045	49.63
4.00	1.135	51.9	4.04	33.30	1.149	54.31
4.77	1.341	61.2	4.82	33.30	1.363	65.01
5.21	1.443	65.8	5.25	33.20	1.469	70.24
5.50	1.499	68.3	5.54	33.20	1.516	72.66
5.75	1.581	72.0	5.80	33.20	1.597	75.79
6.14	1.726	78.3	6.18	33.20	1.746	81.43
6.60	1.842	83.5	6.64	33.20	1.866	87.89
6.76	1.869	84.8	6.79	33.00	1.889	90.45
7.01	1.931	87.7	7.04	33.10	1.952	93.56
7.31	2.016	91.5	7.33	33.10	2.032	96.42
7.58	2.082	94.6	7.60	33.00	2.098	99.3
8.29	2.279	103.1	8.32	33.00	2.295	108.11

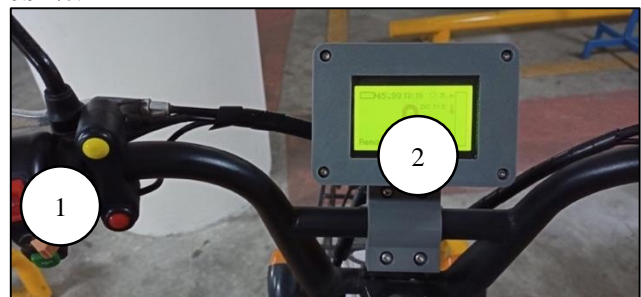
Alat Ukur			Instrument			
Jarak-Km	Ah	Wh	Jarak-Km	Suhu-°C	Ah	Wh
9.64	2.597	117.6	9.67	33.00	2.622	124.06
9.84	2.671	120.9	9.89	32.90	2.691	125.88



Gambar 15. Grafik Perbandingan Perekaman Data Konsumsi Daya Per Jam.

D. Pembahasan

Gambar 16 menunjukkan tombol kendali sistem instrumentasi (nomor satu) dan antarmuka LCD terpasang pada area tengah kemudi sepeda motor listrik (nomor dua). Tombol berwarna merah merupakan jenis tombol *latch-on* yang berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan sistem instrumentasi. Tombol berwarna kuning yang merupakan tombol *push on* memiliki dua fungsi, yaitu ketika ditekan lama akan menyalakan atau menghidupkan lampu latar LCD dan ketika ditekan sesaat akan mengganti halaman parameter LCD yang dapat digunakan untuk melihat berbagai parameter pada alat instrumentasi. Dari hasil uji coba sepeda motor listrik secara riil penggunaan energi baterai terpakai yang tercatat dalam sistem instrumentasi terhadap alat Wattmeter didapatkan selisih paling tinggi sebesar 6.75% yang diambil pada jarak ke 5.21 kilometer. Untuk selisih jarak antara pencatatan pada sistem instrumentasi terhadap alat navigasi terdapat selisih maksimum 0.05 kilometer dan selisih minimum 0.02 kilometer, dengan rata-rata kesalahan 0.91%.



Gambar 16. Antar Muka LCD Dan Tombol Kendali.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini mengimplementasikan sistem instrumentasi yang diaplikasikan langsung pada sepeda motor listrik. Beberapa jenis parameter pada instrumentasi yang dapat terukur antara lain kecepatan, tegangan sumber baterai, arus yang mengalir, suhu baterai, energi terpakai, torsi yang dihasilkan pada roda penggerak, perkiraan jarak

yang dapat ditempuh sesuai kapasitas baterai, total jarak tempuh, kecepatan rata-rata, kecepatan maksimal, konsumsi energi maksimal, konsumsi energi rata-rata, penggunaan arus maksimal, penggunaan arus rata-rata, torsi maksimal dan torsi rata-rata. Dari percobaan yang dilakukan selisih pembacaan penggunaan energi baterai (Wh) terdapat rata-rata selisih pembacaan sebesar 4.71%. Hal ini terjadi karena sistem pada Wattmeter melakukan perhitungan dengan membaca tegangan pada sisi beban saja, dimana ini sesuai dengan fungsi dari Wattmeter tersebut. Sedangkan sistem instrumentasi melakukan pembacaan langsung pada sisi sumber baterai. Hal ini dilakukan agar sistem dapat membaca langsung tingkat kapasitas energi yang ada pada baterai berdasarkan SoC.

REFERENSI

- [1] Components101. 2021. "ADS1115 Module with Programmable Gain Amplifier", <https://components101.com/modules/ads1115-module-with-programmable-gain-amplifier>, diakses pada 19 Januari 2022.
- [2] Davis, S. & Boundy, R. 2021. Transportation Energy Data Book: Edition 39, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
- [3] ElectroPeak. 2019. "Getting Started w: NodeMCU ESP8266 on Arduino IDE – Arduino Project Hub", <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/getting-started-w-nodemcu-esp8266-on-arduino-ide-28184f>, diakses pada 19 Januari 2022.
- [4] Hadi, A. M. R. A., Ekaputri, C. & Reza, M. 2019. Estimating The State of Charge on Lead Acid Battery Using The Open Circuit Voltage Methode. *Journal of Physics: Conference Series*. 1367(012077). doi:10.1088/1742-6596/1367/1/012077.
- [5] Haruna, Lahming, Amir, F. & Asrib, A. 2019. Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *UNM Enviromental Journals*. 2(2):57-61.
- [6] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (Kemenperin). 2021. "Siap Masuki Era Kendaraan Listrik, Indonesia Fokus Bangun Ekosistem", <https://kemenprein.go.id/artikel/22865/Siap-Masuki-Era-Kendaraan-Listrik,-Indonesia-Fokus-Bangun-Ekosistem>, diakses pada 20 Desember 2021.
- [7] Li, S., Li, S., Zhao, H. & An, Y. 2019. Design and Implementation of State-Of-Charge Estimation Based on Back Propagation Neural Network for Smart Uninterruptible Power System. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 15(12):1-9
- [8] Muhlasin, M. 2018. Pengembangan Sistem Instrumentasi Kendaraan Listrik Skala Prototype Berpenggerak Motor BLDC. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Sahid, N., Ugiarto, M. & Pohny. 2017. Implementasi Sistem Dasbor Sensor Digital Kendaraan Bermotor BERbasis Mikrokontroler dan Mobile. *JURTI*. 1(2):170-177.
- [10] Supriyadi, E. & Dinaryati, S. 2020. Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Listrik Rumah Tangga Berbasis ESP8266 NodeMCU. *Sinusiada*. 22(4):13-23.
- [11] Riza, A. 2020. Design and Implementation of Data Acquisition Device and Instrumentation Based on Microcontroller for Electric Bicycle. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [12] Zhang, P., Liang, J. & Zhang, F. 2017. An Overview of Different Approaches for Battery Lifetime Prediction. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 199(012134). doi:10.1088/1757-899X/1/012134