

GATEWAY LORA-MQTT UNTUK TRANSMISI DATA MONITORING MOBIL LISTRIK ECRC UMS

Odhie Rahmawan; Dedy Ary Prasetya, S.T., M.Eng

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

ECRC adalah komunitas penelitian di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang fokus pada pengurangan konsumsi energi dan bahan bakar salah satu opsinya tentang mobil listrik. Mobil listrik mengandalkan sistem elektronik terintegrasi dan membutuhkan pengukuran yang akurat terhadap arus, tegangan, daya, energi, dan rpm. Metode pengukuran manual menggunakan alat AVOMeter dan tachometer umum digunakan, namun pemantauan jarak jauh menjadi tantangan. Sistem ini berhasil menerima data sensor dari *node* LoRa dengan kekuatan sinyal optimal hingga 2 kilometer. Hasil error rata-rata sensor sebesar 0,06 %, menunjukkan akurasi yang baik dengan menggunakan alat ukur yang telah terkalibrasi sebagai acuan. Fungsi utama, perangkat gateway menerima sensor yang dikumpulkan dari perangkat sensor menggunakan modul komunikasi LoRa, kemudian mengirimkannya ke server penyimpanan data berbasis *cloud* menggunakan protokol MQTT dan ditampilkan pada Node-red, memungkinkan pemantauan dan analisis secara *real-time*. Sistem terintegrasi ini menunjukkan potensi yang tinggi untuk pemantauan jarak jauh.

Kata Kunci: Mobil Listrik, LoRa, MQTT, Node-red.

Abstract

ECRC is a research community at the Faculty of Engineering, Muhammadiyah University of Surakarta, focusing on energy and fuel consumption reduction, with one of its options being electric vehicles. Electric vehicles rely on integrated electronic systems and require accurate measurements of current, voltage, power, energy, and rpm. Manual measurement methods using AVOMeters and commonly used tachometers are available, but remote monitoring poses a challenge. This enhanced system successfully received sensor data from LoRa nodes with an optimal signal strength of up to 2 kilometers. The average sensor error was reduced to 0.06 %, indicating good accuracy using calibrated measuring instruments as references. The main function of the gateway device is to receive sensor data collected from sensor devices using the LoRa communication module, then send it to a cloud-based data storage server using MQTT protocol and display it on Node-red, enabling real-time monitoring and analysis. This integrated system demonstrates high potential for remote monitoring.

Keywords: Electric Vehicles, LoRa, MQTT, Node-red.

1. PENDAHULUAN

Mobil listrik menjadi salah satu opsi kendaraan tanpa emisi untuk mengurangi polusi udara. Perkembangan teknologi mobil listrik saat ini mendorong penelitian lanjutan oleh para ahli dalam pengembangan kendaraan yang menggunakan tenaga listrik. Salah satu faktor pendorong utamanya adalah keterbatasan sumber bahan bakar fosil yang semakin berkurang. Pada dasarnya, mobil listrik

dirancang dengan memperhatikan aspek ramah lingkungan dan tidak menyebabkan polusi di lingkungan sekitar, serta dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak yang semakin berkurang seiring berjalannya waktu. (Hendra et al., 2021) ECRC merupakan komunitas penelitian dari Fakultas Teknik civitas akademika Universitas Muhammadiyah Surakarta yang ikut serta dalam upaya penghematan konsumsi energi atau bahan bakar.

Mobil listrik memiliki perbedaan mendasar dengan mobil konvensional yang menggunakan mesin pembakaran internal dan bahan bakar cair sebagai sumber energi. Sebaliknya, mobil listrik menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama yang ditenagai oleh baterai sebagai sumber energinya. Prinsip kerja mobil listrik input pengendali diperoleh dari pedal akselerator dan rem. Pengendali ini menghasilkan sinyal yang sesuai yang diteruskan ke konverter daya elektronik, yang bertugas mengatur aliran daya antara motor listrik dan baterai. (Wawan Gunadi, 2015)

Seperti mobil berbahan bakar minyak konvensional, mobil listrik juga memerlukan fitur-fitur informasi yang penting untuk memantau kondisi kendaraan secara langsung saat sedang digunakan. Untuk memastikan mobil listrik beroperasi sesuai dengan yang diinginkan, diperlukan adanya sistem elektronik yang terintegrasi. Sistem elektronik ini berperan penting dalam mengatur dan mengontrol kinerja mobil listrik secara efisien. Sistem elektronik tersebut terdiri dari berbagai komponen, termasuk motor listrik dan sensor-sensor yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengirimkan data terkait kondisi kendaraan. (Abdullah, 2018)

Dalam menangani permasalahan tersebut, penulis telah melakukan perancangan sistem monitoring yang bertujuan untuk memonitor pengukuran arus, tegangan, daya, energi, dan kecepatan putaran secara per menit. Data tersebut akan dikirimkan menggunakan teknologi komunikasi LoRa dan dapat ditampilkan secara *real-time* guna memonitor kondisinya, bahkan dari lokasi yang jauh. LoRa adalah modul komunikasi nirkabel yang hemat dalam penggunaan daya dan dapat berkomunikasi pada area yang luas. LoRa dapat melakukan komunikasi dengan jarak maksimal 15 kilometer pada area yang tidak terdapat hambatan (Adelantado, et al., 2017).

Dalam pembuatan sistem monitoring, ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengendalikan dan mengintegrasikan komponen-komponen lainnya. Sensor pzem017 digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti arus, tegangan, daya, dan energi, sementara sensor *infrared* digunakan untuk mendeteksi putaran motor dalam menit. ESP32 membaca data dari kedua sensor tersebut dan mengirimkannya melalui modul komunikasi LoRa, yang memungkinkan pengiriman data secara nirkabel dengan jangkauan jarak jauh. Data yang dikirim kemudian diterima oleh *gateway* LoRa dan diteruskan menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). MQTT *broker* berfungsi sebagai pusat data yang menerima, menyimpan, dan menyampaikan data ke Node-

red. Node-red menerima data dari MQTT *broker* dan digunakan untuk memvisualisasikan data secara *real-time*, sehingga dapat memonitoring mobil listrik dari mana saja. Sehingga dapat memudahkan dari pihak tim untuk melihat kinerja mobil listrik ECRC apabila ada masalah.(Azis , 2021)

2. METODE

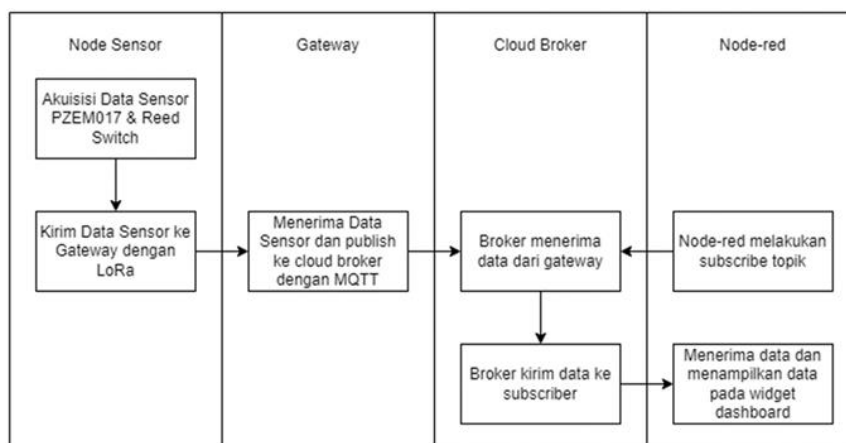
Dalam penelitian ini, dirancang sebuah sistem monitoring jarak jauh menggunakan teknologi LoRa untuk mengukur arus, tegangan, daya, energi, dan rpm pada mobil listrik. Metode digunakan sebagai panduan dalam pengembangan sistem tersebut. Metode ini penting agar sistem dapat memantau performa dan kondisi mobil listrik secara *real-time* saat digunakan. Adapun tahapan dalam merancang sistem ini meliputi:

2.1 Studi Literatur

Dalam tahap ini, akan dijelaskan beberapa kebutuhan terkait sumber referensi yang diperlukan untuk merancang sistem pemantauan jarak jauh menggunakan teknologi LoRa guna mengukur arus, tegangan, daya, energi, dan rpm pada mobil listrik. Referensi yang telah dikumpulkan akan menjadi pedoman dalam pembuatan sistem agar sistem yang direncanakan dapat direalisasikan.

2.2 Perancangan Sistem dan Alat

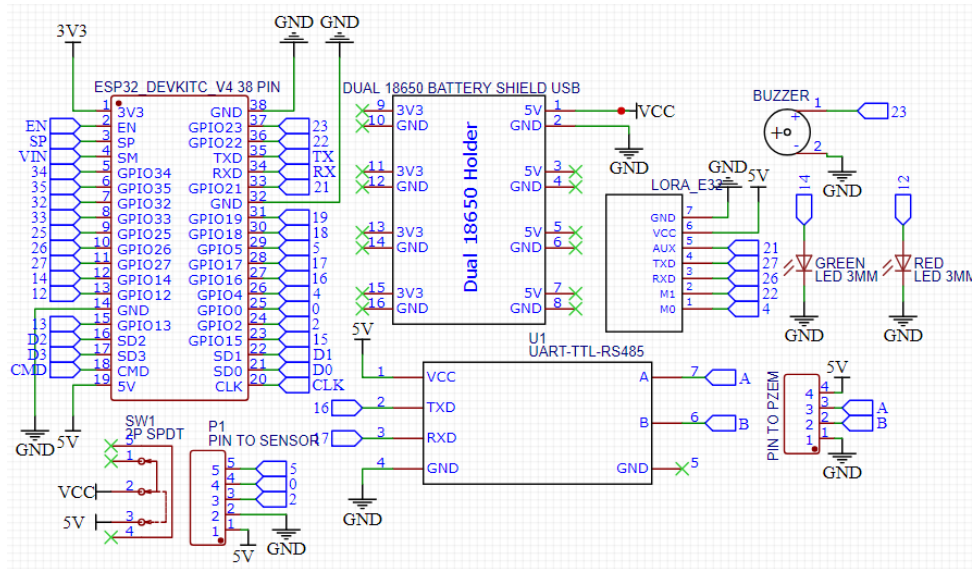
Sebelum tahap implementasi, dilakukan perancangan sistem dan perangkat sebagai langkah awal untuk memberikan gambaran tentang proses selanjutnya. Pada tahap ini, dilakukan penggambaran ilustratif mengenai rancangan perangkat yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, kemudian rancangan tersebut diwujudkan menjadi bentuk fisik.



Gambar 1. Flowchart Pembuatan Sistem Monitoring

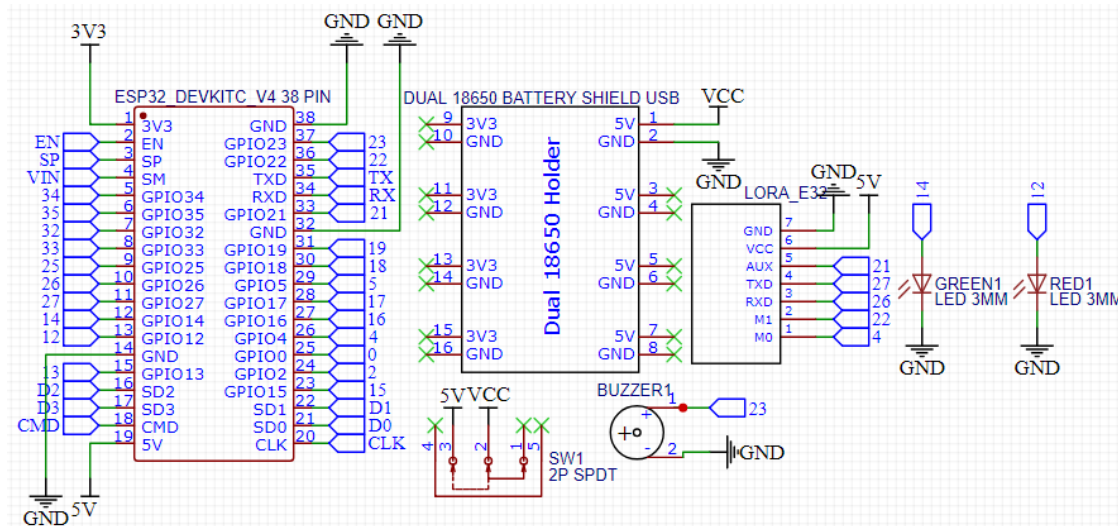
Pada Gambar 1. Proses akuisisi data sensor menggunakan sensor pzem017 dan *infrared*, di mana data dari sensor-sensor tersebut diambil dan diproses. Data sensor yang telah diakuisisi kemudian dikirim ke *gateway* menggunakan LoRa untuk pengiriman data jarak jauh. *Gateway* berperan sebagai penerima data sensor dan melakukan *publish* data ke *cloud broker* menggunakan protokol MQTT.

Cloud broker berfungsi sebagai perantara dalam pertukaran data antara *gateway* dan *subscriber*. *Broker* menerima data dari *gateway* dan meneruskannya ke *subscriber* melalui protokol MQTT. Node-red sebagai *subscriber*, melakukan *subscribe* pada topik yang relevan dengan data sensor yang ingin diterima. Node-red menerima data yang dikirim oleh *broker* melalui MQTT dan menampilkan data tersebut pada *widget dashboard* sesuai dengan kebutuhan pemantauan yang diinginkan.



Gambar 3. Rangkaian *Node Sensor*

Pada Gambar 3. Rancangan elektronika ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler pada *node sensor*. Modul LoRa digunakan sebagai komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data dari *node sensor* ke *gateway* nantinya. Sensor pzem017, yang mengukur arus, tegangan, daya, dan energi, dihubungkan melalui antarmuka RS485. RS485 adalah sebuah protokol komunikasi yang memungkinkan komunikasi serial dengan jarak yang lebih jauh dan kecepatan transfer yang tinggi. ESP32 akan menggunakan protokol RS485 untuk berkomunikasi dengan sensor pzem017 dan membaca data pengukurannya. Selain itu, sensor *infrared* yang digunakan untuk mendeteksi putaran motor dihubungkan melalui terminal pin pada ESP32. Sensor *infrared* akan memberikan pulsa atau sinyal yang dihasilkan oleh putaran motor, dan ESP32 akan menghitung jumlah pulsa tersebut untuk mengestimasi rpm (putaran per menit) motor.



Gambar 4. Rangkaian Gateway

Pada Gambar 4. Rancangan elektronika ini menggambarkan penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler pada *gateway*. Modul LoRa digunakan sebagai metode komunikasi nirkabel untuk menerima data dari *node* sensor. ESP32 sebagai pengendali utama pada *gateway* akan menerima data dari *node* sensor melalui modul LoRa. Setelah menerima data, ESP32 akan mengolahnya sesuai kebutuhan dan mengaktifkan *buzzer* dan *led* untuk memberikan tanda bahwa pengambilan data berhasil dilakukan. Hal ini memudahkan pengguna untuk memantau dan memverifikasi bahwa sistem berfungsi dengan baik.

2.3 Perancangan Alat

Tahap ketiga adalah tahap implementasi perangkat, yang melibatkan proses perakitan atau penggabungan semua komponen yang telah disiapkan sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang sebelumnya.

2.4 Pengujian Sistem dan Alat

Setelah proses pemrograman selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian guna memastikan bahwa fungsi dan hasil program sesuai dengan harapan. Pengujian dilakukan dengan memasang perangkat pada mobil listrik ECRC dan menguji kondisi LOS (*Line Of Sight*) untuk pengiriman data antara *node* LoRa dan *gateway* LoRa. Hasil pengujian akan diamati melalui MQTT dan Node-red. Selain itu, menentukan performa motor BLDC pada mobil listrik dengan melihat hasil konsumsi energi yang digunakan. Terakhir dilakukan juga kalibrasi pada alat ukur AVOMeter dan tachometer sebagai pembanding.

2.5 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian, data yang didapatkan oleh kekuatan sinyal LoRa, sensor pzem017 dan *infrared* akan langsung diproses oleh program pengolahan data untuk menemukan informasi hasil keluaran motor yaitu :

2.5.1 Pengolahan Data Daya Motor

$$P = V \times I \quad (1)$$

Keterangan :

P = Daya

V = Tegangan

I = Arus

2.5.2 Pengolahan Data RPM

$$RPM = n \times 60 \quad (2)$$

Keterangan :

RPM = Jumlah putaran permenit

n = Banyak putaran

2.5.3 Pengolahan Data Jarak

$$s = 2\pi r \times n \quad (3)$$

Keterangan :

s = Jarak

r = Jari – jari roda

n = Banyak putaran

2.5.4 Pengolahan Data Kecepatan

$$s = 2\pi r \times n \quad (4)$$

Keterangan :

s = Jarak

r = Jari – jari roda

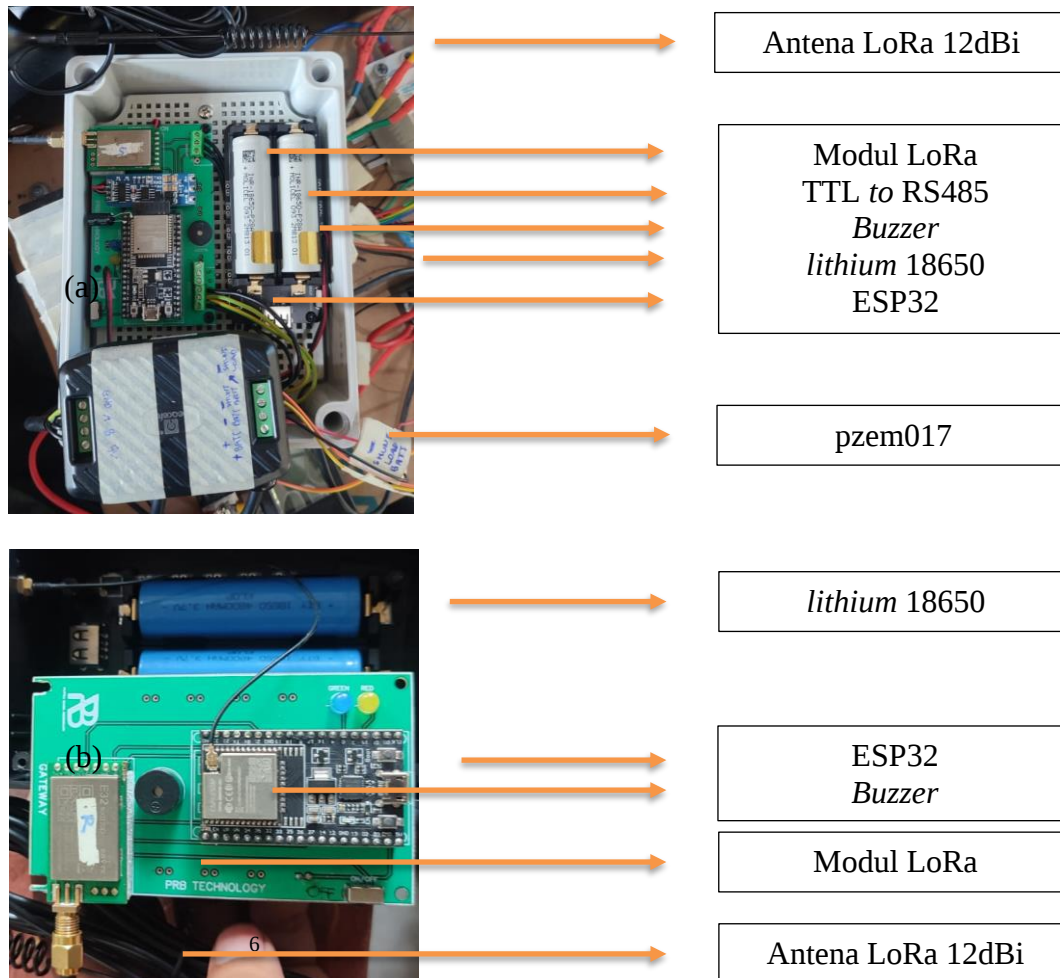
n = Banyak putaran

2.5.5 Pengolahan Data Konsumsi

$$\text{Capaian} = \frac{\text{Jarak Tempuh}}{\text{Konsumsi Energi}} \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Realisasi Alat

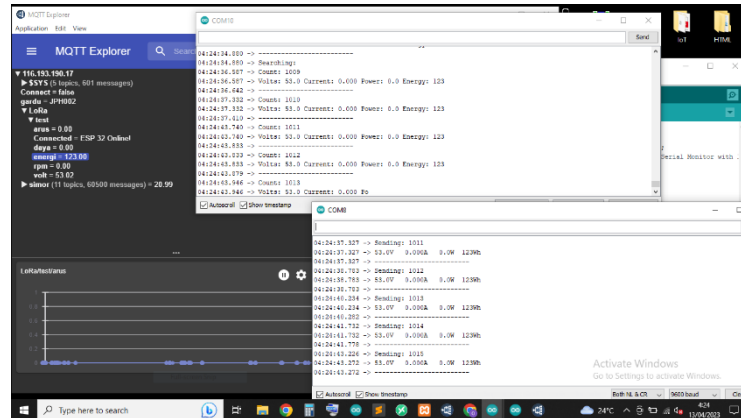


Gambar 5. (a) Hardware Node Sensor (b) Hardware Gateway

Modul LoRa berfungsi sebagai jembatan antara sensor-sensor tersebut dan sistem monitoring. Data yang dikumpulkan oleh modul LoRa dikirimkan melalui jaringan LoRa ke *gateway* atau stasiun basis yang terhubung ke internet. Selanjutnya, data tersebut dapat diakses dan divisualisasikan melalui aplikasi atau *platform* monitoring yang sesuai, seperti *MQTT Explorer*, *Node-red*.

Gambar 6 dan Gambar 7 adalah hasil dari sistem monitoring jarak jauh menggunakan modul komunikasi LoRa. Dengan adanya sistem monitoring ini, pihak tim mobil listrik dapat memantau dan menganalisis kinerja mobil listrik secara *real-time*. Pihak tim dapat melihat data seperti konsumsi energi, efisiensi motor, status baterai, dan lain sebagainya. Informasi ini sangat berguna dalam

mengoptimalkan penggunaan mobil listrik, melakukan perawatan yang tepat waktu, dan mengidentifikasi masalah potensial. Selain itu, data yang terkumpul juga dapat digunakan untuk analisis jangka panjang dan pengambilan keputusan strategis dalam pengembangan teknologi mobil listrik.



Gambar 6. Data MQTT Explorer



Gambar 7. Dashboard Node-red

3.2 Pengujian dan Pembahasan

3.2.1 Pengujian RSSI dan Pengiriman Data Sensor LoRa

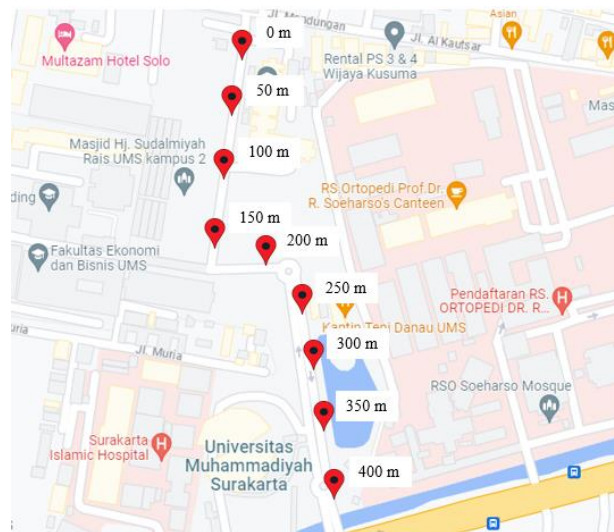
Dalam rangka melakukan pengujian, eksperimen dilakukan dua kali yaitu di kawasan kampus 2 Universitas Muhammadiyah Surakarta dan sepanjang jalan adi sucipto dengan mempertimbangkan kondisi LOS (*Line Of Sight*) yang melibatkan pengujian pertama rute dari Fakultas Psikologi hingga Gedung Induk Siti Walidah kemudian pengujian kedua rute dari Lorin Solo Hotel hingga De Tjolomadoe. Pemilihan lokasi pengujian pertama tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan kecocokan untuk uji coba mobil listrik serta jarak yang dekat dengan sekretariat ECRC, pengujian kedua dilakukan berdasarkan pertimbangan jarak yang lebih panjang daripada pengujian pertama. Data diambil untuk dilakukan perhitungan guna mendapatkan parameter uji RSSI (*Receive Signal*

Strength Indicator). Parameter ini memiliki peran sebagai indikator kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima, sehingga dapat dilihat dari table performa kekuatan sinyal sebagai berikut:

Kategori	RSSI (dBm)
Sangat Bagus	>-70 dBm
Bagus	-70 dBm s/d -85 dBm
Sedang	-86 dBm s/d -100 dBm
Jelek	-100 dBm

Gambar 8. Peningkatan Performa LoRa Pada Frekuensi 915 Mhz

Pada Gambar 8. Menunjukkan bahwa kekuatan RSSI yang memiliki kategori sangat bagus sebesar lebih dari -70 dBm. Pada kekuatan RSSI yang memiliki kategori jelek sebesar -100 dBm, tetapi pada keadaan sebenarnya untuk RSSI dengan nilai kurang dari -100 dBm masih mampu menerima data dengan jarak maksimal 2 km.



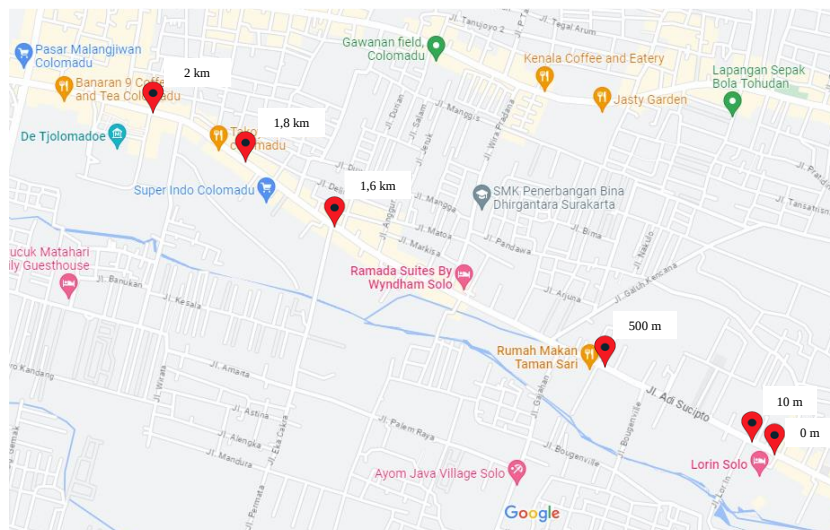
Gambar 9. Pengujian Pertama Berada di Kawasan Kampus 2 UMS

Gambar 9. Pengujian pertama kondisi LOS untuk pengiriman data antara *node* LoRa dan *gateway* LoRa. Kondisi LOS mengacu pada keadaan di mana lingkungan sekitar atau lapangan tidak memiliki penghalang yang dapat menghambat pengiriman data. Pengujian ini terdiri dari 9 titik yang tersebar dengan jarak 50 meter antara setiap titik. Pengujian dilakukan di Kawasan Kampus 2 Universitas Muhammadiyah Surakarta, yang dipilih karena memiliki area yang luas dan memungkinkan terjadinya kondisi LOS tanpa adanya penghalang yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan sinyal. Pengujian dimulai dari jarak 0 meter hingga 400 meter, sesuai dengan rute yang dipilih dengan jarak 400 meter dari peta.

Tabel 1. Hasil Pengujian 1 Koneksi LoRa

Data	Jarak								
	0 m	50 m	100 m	150 m	200 m	250 m	300 m	350 m	400 m
	Satuan (dBm*)								
1	-38	-82	-89	-96	-107	-107	-110	-110	-110
2	-46	-81	-88	-97	-108	-108	-110	-110	-111
3	-44	-81	-90	-97	-108	-107	-111	-110	-110
4	-43	-83	-92	-97	-108	-107	-111	-110	-110
5	-36	-90	-91	-94	-109	-109	-110	-111	-110
Rata - rata	-33,4	-83,4	-90	-96,2	-108	-110,4	-110,4	-110,2	-110,2

*dBm – dB milliWatt



Gambar 10. Pengujian Kedua Berada di Lorin Solo - De Tjolomadoe

Gambar 10. Pengujian kedua kondisi LOS untuk pengiriman data antara *node* LoRa dan *gateway* LoRa. Pengujian ini terdiri dari 6 titik yang tersebar dengan jarak total 2 kilometer dari titik awal hingga titik akhir. Pengujian dilakukan sepanjang jalan adi sucipto dengan rute dari Lorin Solo Hotel hingga De Tjolomadoe.

Tabel 2. Hasil Pengujian 2 Koneksi LoRa

Data	Jarak				
	10 m	500 m	1,6 km	1,8 km	2 km
	Satuan (dBm*)				
1	-93	-99	-109	-112	-113
2	-94	-99	-108	-112	-114
3	-95	-101	-108	-112	-114
4	-97	-101	-110	-112	-115
5	-98	-104	-111	-114	-115
Rata – rata	-95,4	-100,8	-109,2	-112,4	-114,2

*dBm – dB milliWatt

Pada Tabel 1 dan Tabel 2. Terdapat hasil dari pengujian awal yang dilakukan untuk menguji koneksi antara dua modul LoRa. Pengujian ini melibatkan satu modul LoRa sebagai *node* sensor dan satu modul LoRa sebagai *gateway*. Selama pengujian, dilakukan pengiriman dan penerimaan data sensor yang kemudian mengaktifkan *led* kuning pada *gateway* LoRa. Berdasarkan hasil pengujian rata-rata kekuatan sinyal RSSI data semakin meningkat seiring dengan peningkatan jarak antara *node* sensor dan *gateway*. LoRa berhasil mengirim data pada jarak 400 meter dan 2 kilometer dengan sukses, seperti yang terlihat dalam tabel.

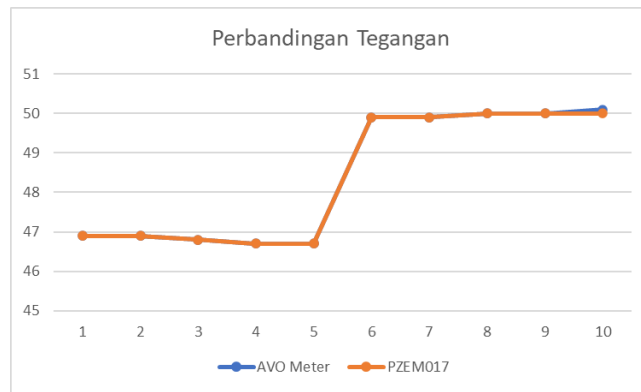
3.2.2 Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor *pzem017* dan *infrared*. Alat ukur digunakan untuk membandingkan hasil pengukuran sensor dengan standar yang diharapkan, dan nilai error diolah untuk mengevaluasi tingkat ketepatan pengukuran. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan kualitas dan akurasi sensor-sensor tersebut dalam pengukuran yang dilakukan. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung rata-rata nilai pengukuran dan error rata-rata nilai pengukuran adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran AVOMeter Terhadap Sensor

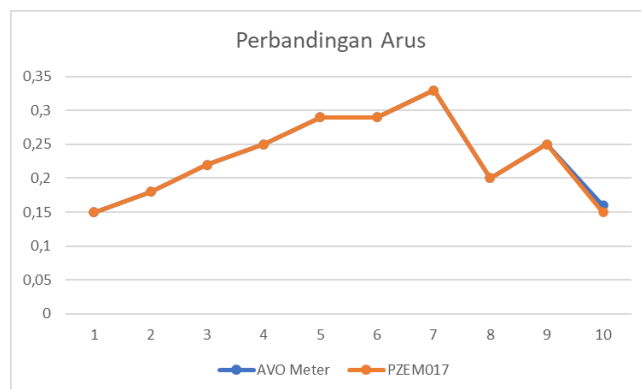
Data	Baterai (AVOMeter)			PZEM017		
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya
	(VDC)	(I)	(W)	(VDC)	(I)	(W)
1	46,9	0,15	7,0	46,9	0,15	7,0
2	46,9	0,18	8,4	46,9	0,18	8,4
3	46,8	0,22	10,3	46,8	0,22	10,3
4	46,7	0,25	11,7	46,7	0,25	11,7
5	46,7	0,29	13,5	46,7	0,29	13,5
6	49,9	0,29	14,5	49,9	0,29	14,5
7	49,9	0,33	16,5	49,9	0,33	16,5
8	50,0	0,20	10,0	50,0	0,20	10,0
9	50,0	0,25	12,5	50,0	0,25	12,5
10	50,1	0,16	8,0	50,0	0,15	7,5
Rata - rata	48,39	0,23	11,24	48,38	0,23	11,19

Pada Tabel 3. terlihat adanya keterkaitan antara rpm (putaran per menit) yang diberikan pada motor BLDC (brushless DC) dengan arus yang terukur. Pengujian yang dilakukan mengungkapkan bahwa semakin tinggi rpm yang diberikan pada motor BLDC, arus yang terukur juga cenderung meningkat. Respons motor BLDC terhadap kecepatan putaran, ketika rpm ditingkatkan, gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh motor BLDC juga meningkat, yang menyebabkan arus yang mengalir melalui motor menjadi lebih besar.



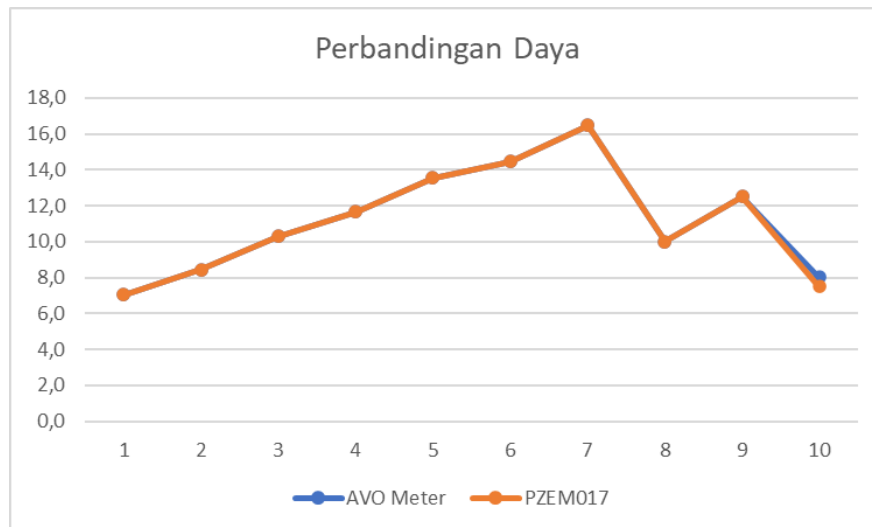
Gambar 11. Grafik Hasil Perbandingan Tegangan

Pada Gambar 11. Grafik sebagai pembacaan tegangan yang mana grafik memiliki 10 pengambilan data dengan hasil yang fluktuatif, grafik ini juga dapat melihat perbandingan dari AVOMeter sebagai alat ukur standar sebagai nilai acuan dari pembacaan dan pzem017 sebagai pembacaan nilai sensing element. Pada grafik tegangan didapatkan bahwa perbandingan nilai AVOMeter dan pzem017 tidak berbeda jauh, sehingga tingkat akurasi nilai hampir mendekati keluaran nilai acuannya. Data uji pengambilan ke-5 memiliki nilai sebesar 46,7 V dan untuk data uji pengambilan ke-6 mengalami kenaikan nilai sebesar 49,9 V. Hal ini disebabkan oleh adanya pergantian baterai pada mobil listrik, untuk mendapatkan perbedaan data pengujian.



Gambar 12. Grafik Hasil Perbandingan Arus

Pada Gambar 12. Grafik pembacaan arus yang mana grafik memiliki 10 pengambilan data dengan hasil yang fluktuatif, grafik ini juga dapat melihat perbandingan dari AVOMeter dan pzem017. Pada grafik arus didapatkan bahwa perbandingan nilai AVOMeter dan pzem017 tidak berbeda, sehingga tingkat akurasi nilai hampir mendekati keluaran nilai acuannya. Data uji ke-1 sampai data uji ke-5 mengalami kenaikan dari 0,15 A sampai 0,29 A, hal ini disebabkan karena kondisi motor BLDC berputar semakin kencang, pada data uji ke-9 dan data uji ke-10 mengalami penurunan dari 0,25 A menjadi 0,15 A, hal ini disebabkan oleh motor BLDC dalam proses berhenti berputar.



Gambar 13. Grafik Hasil Perbandingan Daya

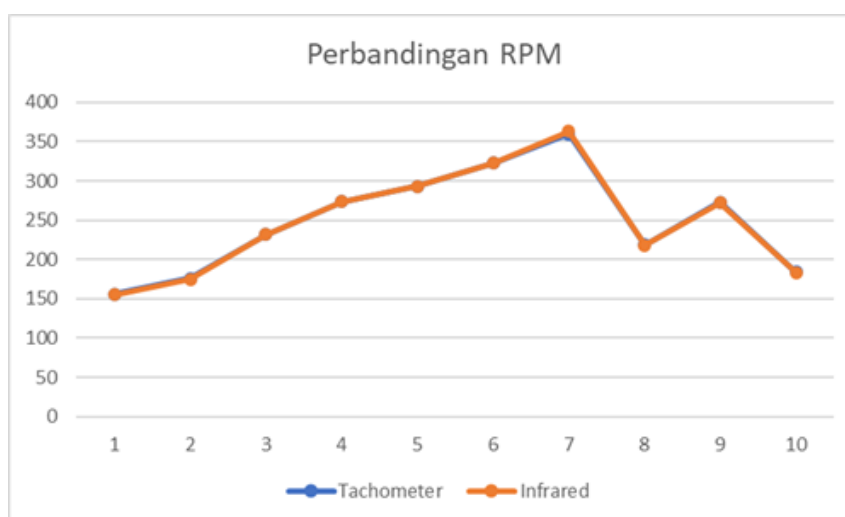
Pada Gambar 13. Grafik pembacaan nilai yang mana grafik daya memiliki 10 pengambilan data dengan hasil yang tidak konstan setelah pengujian data ke-7, grafik ini juga sebagai perbandingan dari AVOMeter dan pzem017. Pada grafik daya didapatkan bahwa perbandingan pembacaan dapat dilihat dari data uji ke-1 sampai data uji ke-7 mengalami peningkatan dari 6 W sampai 16 W, tetapi pada data pengujian ke-8 mengalami penurunan sebesar 8 W. hal ini sebabkan oleh motor BLDC dalam proses berhenti berputar.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tachometer Terhadap Infrared

Data	Tachometer	Infrared	Error %
1	156	155	0,6
2	176	175	0,5
3	232	232	0
4	274	274	0
5	293	293	0
6	323	323	0
7	360	363	0,8
8	219	218	0,4

9	273	272	0,3
10	184	183	0,5
Rata – rata	249,0	248,8	0,31

Hasil pengujian yang terdokumentasi dalam Tabel 3 dan Tabel 4 melibatkan penggunaan sensor *pzem017* dan *infrared*, serta penggunaan alat ukur seperti AVOMeter dan tachometer. Dalam pengujian tersebut, ditemukan rata-rata error sebesar 0,06 %, menunjukkan akurasi yang baik dengan menggunakan alat ukur yang telah terkalibrasi sebagai acuan.



Gambar 14. Grafik Hasil Perbandingan RPM

Pada Gambar 14. Grafik pembacaan nilai yang mana grafik RPM memiliki 10 pengambilan data dengan hasil yang tidak konstan setelah pengujian data ke-7, grafik ini juga sebagai bandingan dari Tachometer dan Infrared. Pada grafik RPM bergantung pada kecepatan putaran motor didapatkan bahwa perbandingan pembacaan dapat dilihat dari data uji ke-1 sampai data uji ke-7 mengalami peningkatan dari 155 rpm sampai 363 rpm, tetapi pada data pengujian ke-8 mengalami penurunan sebesar 218 rpm. hal ini sebabkan oleh penurunan kecepatan putaran motor BLDC data pengujiann ke-9 mengalami kenaikan sebesar 272 rpm, hal ini dikarenakan kenaikan kecepatan putaran motor BLDC dan pengujian ke-10 mengalami penuruanan sebesar 183 rpm, hal ini disebabkan oleh motor BLDC dalam proses berhenti berputar.

Tabel 5. Hasil Pengujian Jarak

Data	Jarak		
	10 m	20 m	30 m
	Pulsa		
1	38	76	114
2	39	75	115
3	39	76	115
4	38	75	115
5	38	76	114
Rata - rata	38,4	75,6	114,6

Dalam kalibrasi sensor *infrared* untuk pembacaan jarak, digunakan rumus jarak yang dihubungkan dengan jumlah pulse yang dideteksi oleh sensor. Rumus tersebut menghitung jarak yang ditempuh oleh objek berdasarkan pulse yang dihasilkan. Pada tahap kalibrasi, tujuannya adalah memeriksa keakuratan sensor dengan membandingkan hasil pulse yang diperoleh untuk jarak-jarak tertentu.

Pada Tabel 5. Terlihat bahwa sensor yang digunakan dalam pengujian mampu menghasilkan output pulse yang tetap pada nilai tertentu pada jarak-jarak tertentu. Pada jarak 10 meter, nilai pulse yang didapatkan adalah 38, pada jarak 20 meter nilai pulse tetap pada angka 76, dan pada jarak 30 meter nilai pulse tetap pada angka 115. Hal ini menunjukkan bahwa sensor tersebut memiliki kinerja yang stabil dan konsisten dalam mendeteksi objek pada jarak-jarak yang diuji. Ketepatan sensor memiliki dampak yang signifikan dalam aplikasi yang memerlukan pengukuran jarak yang akurat.

Tabel 6. Konsumsi Daya, Kecepatan, Jarak, Dan Waktu Tempuh

Lap	Waktu (s)	Jarak (km)	Konsumsi (Wh)	Capaian (km/kWh)
1	830	6,31	16,6	380,12
2	1590	12,60	33,4	377,25
3	1570	12,60	33,6	375,00
4	860	6,31	16,7	377,84
5	840	6,31	17	371,18
Rata- rata			23,46	376,28

Pada Tabel 6. Adanya variasi dalam waktu dan jarak yang ditempuh untuk setiap lap pengujian. Meskipun jarak yang ditempuh relatif konstan antara 6,31 km hingga 12,60 km, waktu yang diperlukan bervariasi dari 830 detik hingga 1590 detik. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan dalam gaya mengemudi pada setiap lap. konsumsi energi juga berfluktuasi dari lap ke lap. Konsumsi energi berkisar antara 16,6 Wh hingga 33,6 Wh, dengan rata-rata konsumsi sebesar 23,46 Wh. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti kecepatan, kondisi jalan, atau gaya mengemudi yang berbeda selama setiap lap. Meskipun terjadi variasi dalam konsumsi energi, capaian kendaraan tetap relatif stabil. Capaian kendaraan, yang diukur dalam kilometer per kilowatt-jam (km/kWh), berkisar antara 371,18 km/kWh hingga 380,12 km/kWh. Rata-rata capaian kendaraan sebesar 376,28 km/kWh, menunjukkan bahwa kendaraan memiliki efisiensi yang baik dalam menghasilkan jarak tempuh dengan konsumsi energi yang diberikan.

4. PENUTUP

Dalam penelitian ini, sistem monitoring jarak jauh secara *real-time* menggunakan modul LoRa dengan MQTT dan Node-red telah berhasil diuji dan dievaluasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sinyal RSSI dari modul LoRa masih mampu mengirimkan data hingga jarak 2 km, dan data tersebut dapat ditampilkan dan diproses dengan sukses pada platform Node-red. Selain itu, terlihat adanya hubungan yang signifikan antara peningkatan rpm pada motor dengan penurunan tegangan dan peningkatan arus yang terukur. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi rpm, tegangan akan turun dan arus akan naik secara proporsional. Selanjutnya, dalam pengukuran sensor pzem017 dan *infrared*, terdapat selisih hasil pengukuran terhadap alat ukur AVOMeter dan tachometer, dengan rata-rata error

sebesar 0,06 %. Meskipun terdapat selisih ini, nilai error tersebut masih berada dalam rentang yang dapat diterima. Rata-rata capaian kendaraan sebesar 376,28 km/kWh, menunjukkan bahwa kendaraan memiliki efisiensi yang baik dalam menghasilkan jarak tempuh dengan konsumsi energi yang diberikan. Kemudian faktor waktu, jarak, konsumsi energi, dan capaian saling terkait dalam pengujian yang dilakukan, dan perbedaan nilai-nilai tersebut dapat memberikan informasi tentang performa dan efisiensi sistem yang diuji.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta yang sudah membiayai dalam penelitian ini melalui Bantuan Dana Penelitian Mahasiswa Semester Genap 2022/2023 melalui RPPS prodi Teknik Elektro dan Komunitas Mobil Listrik ECRC UMS yang telah terlibat dalam penelitian serta menjadi mitra dalam tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhawiyuga, A., Amron, K., Primanandha, R., Kartikasari, D. P., Arijudin, H., & Prabandari, D. A. (2019). LoRa-MQTT Gateway Device for Supporting Sensor-to-Cloud Data Transmission in Smart Aquaculture IoT Application. *Proceedings of 2019 4th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology, SIET 2019*, 187–190. <https://doi.org/10.1109/SIET48054.2019.8986124>
- Firmansyah, D. W., Ichsan, M. H. H., & Bhawiyuga, A. (2020). Pengembangan Gateway LoRa-MQTT untuk Transmisi Data Dua Arah antara Wireless Sensor Network dan Cloud Server. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer E-ISSN*, 2548(1), 964X.
- Gunoto, P., Rahmadi, A., & Susanti, E. (2022). Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v5i2.4555>
- Haykal, A. F. (2021). Sistem Monitor Performance Panel Surya Secara Real Time Berbasis IOT. http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/95299%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/95299/1/NASKAH_PUBLIKASI.pdf
- Huda, M., Imansyah, F., Marpaung, J., & Yacoub, R. R. (2021). Rancang Bangun Sistem Komunikasi Monitoring Level Air Pada Water Barrel Covid-19 Menggunakan Lora Dengan Model Point To Point. *Jurnal S1 Teknik Elektro Untan*, 2(1), 1–11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/48647>
- Nugroho, A. A., & Ashari, A. (2021). Efisiensi Daya Pada Smartlock Bike-Sharing Berbasis LoRaWAN Dengan Metode GPS Duty Cycle. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 11(1), 25. <https://doi.org/10.22146/ijeis.57690>
- Studi, P., Elektro, T., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2022). EM-IOT : Sistem Monitoring Baterai dan Location Tracking Berbasis IoT pada Motor Listrik EM-IOT : Sistem Monitoring Baterai dan Location Tracking Berbasis IoT pada Motor Listrik. 18524060.
- Suga, M. I., & Nurwarsito, H. (2021). Sistem Monitoring KWH Meter berbasis Modul Komunikasi LoRa. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(4), 1257–1266.

Jatmiko, J., Basith, A., Ulinuha, A., Muhlasin, M. A., & Khak, I. S. (2018). Analisis Peroforma dan Konsumsi Daya Motor BLDC 350 W pada Prototipe Mobil Listrik Ababil. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(2), 55–58. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i2.6348>