

Monitoring IoT Sistem Baterai Aluminium Udara

1st Maulana Kautsar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

maulanakautsar@student.telkomunivers
ity.ac.id

2nd Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ukeusman @telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini membahas pengembangan sistem baterai aluminium-udara yang terhubung ke modul sel surya, dilengkapi dengan sensor tegangan dan sensor INA219 untuk memantau tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh lampu DC 5 watt. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dan pemantauan real-time dalam aplikasi energi terbarukan. Baterai aluminium-udara dipilih karena kepadatan energinya yang tinggi dan dampak lingkungan yang rendah, sementara modul sel surya menyediakan sumber energi yang berkelanjutan. Sensor tegangan dan INA219 berfungsi sebagai alat pemantau yang akurat, memberikan data penting tentang kinerja sistem, yang kemudian dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi dan stabilitas energi yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan mencapai akurasi sekitar 99,58% dibandingkan dengan multimeter, dengan kesalahan relatif hanya sekitar 0,4167%. Pengukuran arus menggunakan sensor INA219 juga sangat akurat, dengan tingkat akurasi sekitar 98,20% dan kesalahan relatif sekitar 1,8018%. Selain itu, pengujian *delay* sistem menunjukkan waktu rata-rata *delay* sebesar 0,324 detik, yang dapat diterima dalam konteks aplikasi real-time. Pengujian *Packet Loss* menunjukkan bahwa tidak ada kehilangan data yang terjadi selama 30 kali pengujian, dengan tingkat *Packet Loss* sebesar 0%, yang divalidasi menggunakan aplikasi Wireshark.

Kata kunci— modul sel surya, sensor INA219, baterai aluminium-udara, efisiensi energi, pemantauan real-time, energi terbarukan

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan semakin mendesak seiring dengan meningkatnya permintaan energi global dan kekhawatiran terhadap dampak perubahan iklim. Salah satu inovasi yang menarik perhatian adalah penggunaan baterai aluminium-udara yang memiliki kepadatan energi tinggi dan dampak lingkungan rendah, serta modul sel surya sebagai sumber energi yang berkelanjutan. Untuk memaksimalkan efisiensi dan keandalan sistem energi terbarukan ini, diperlukan teknologi pemantauan yang mampu mengukur tegangan, arus, dan daya secara real-time. Untuk itu, diperlukan suatu sistem yang terhubung dengan IoT. Internet of thing (IoT) merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus (Yoyon Efendi, 2018) [8].

Penelitian terkini menunjukkan bahwa integrasi baterai aluminium-udara dengan modul sel surya dapat meningkatkan efisiensi energi dan menyediakan solusi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan baterai konvensional [1]. Selain itu, penggunaan sensor tegangan dan sensor INA219 telah terbukti efektif dalam memantau performa sistem energi dengan akurasi tinggi [2].

Meskipun potensi besar dari baterai aluminium-udara dan modul sel surya, tantangan utama yang dihadapi adalah bagaimana melakukan pemantauan dan evaluasi kinerja sistem secara real-time. Tanpa pemantauan yang tepat, sulit untuk memastikan efisiensi dan stabilitas energi yang dihasilkan, yang dapat mengurangi keandalan sistem.

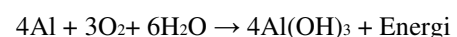
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan tegangan, arus, dan daya pada beban secara real-time dalam aplikasi energi terbarukan, khususnya untuk kombinasi baterai aluminium-udara dan modul sel surya. Dengan memanfaatkan sensor tegangan dan sensor INA219, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efisien dan dapat diandalkan untuk pemantauan dan analisis kinerja sistem energi terbarukan.

II. KAJIAN TEORI

Kajian teori ini akan membahas teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian, yakni jenis baterai, modul sel surya, sensor tegangan, sensor arus INA219, tegangan, arus, dan daya. Pemahaman mendalam mengenai teori-teori ini diperlukan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan energi terbarukan secara real-time yang efisien.

A. Baterai Aluminium-Udara

Baterai aluminium-udara menghasilkan energi listrik diperoleh dari reaksi elektrokimia yaitu reaksi reduksi dan oksidasi [9]. Reaksi elektrokimia dalam baterai ini menghasilkan energi listrik dengan kepadatan energi yang tinggi. Reaksi utamanya adalah sebagai berikut:



Kepadatan energi yang tinggi dan dampak lingkungan yang lebih rendah membuat baterai ini menjadi pilihan yang menjanjikan dalam aplikasi energi terbarukan. Baterai

aluminium-udara memiliki potensi untuk digunakan dalam sistem penyimpanan energi karena kemampuan penyimpanan energinya yang besar dan sifat materialnya yang melimpah serta relatif murah dibandingkan dengan baterai konvensional lainnya [3].

B. Modul Sel Surya

Energi matahari merupakan sumber energi yang ketersediaan dan energinya tidak terbatas dan tidak ada habisnya juga dapat digunakan sebagai energi alternatif yang diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya [12]. Ketika sinar matahari mengenai sel surya, elektron dalam material semikonduktor tereksitasi dan bergerak melalui material, menciptakan arus listrik. Tegangan yang dihasilkan dari modul sel surya adalah hasil dari perbedaan potensial yang terbentuk antara dua titik dalam material tersebut.

Pasokan listrik sel surya yang digunakan berasal dari sumber energi terbarukan yaitu oleh menggunakan energi dari sinar matahari. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari. Indonesia merupakan negara tropis dengan potensi energi surya yang cukup tinggi [10][11]. Modul sel surya memainkan peran penting dalam sistem energi terbarukan karena mampu menyediakan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Efisiensi konversi energi sel surya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti intensitas cahaya, suhu, dan kualitas material semikonduktor yang digunakan [4].

C. Sensor Tegangan

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Tegangan diukur dalam volt (V) dan merupakan salah satu parameter penting dalam sistem kelistrikan. Sensor tegangan digunakan untuk memantau tegangan yang dihasilkan oleh sumber energi (seperti baterai atau modul sel surya) dalam waktu nyata.

Sensor tegangan bekerja dengan cara mendeteksi perbedaan potensial antara dua titik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem mikrokontroler untuk analisis lebih lanjut. Pengukuran tegangan yang akurat penting untuk memastikan bahwa sistem bekerja dalam batas tegangan yang aman dan optimal [5].

D. Sensor Arus INA219

Arus listrik adalah aliran muatan listrik melalui suatu konduktor, diukur dalam ampere (A). Dalam konteks sistem pemantauan energi, arus yang dihasilkan oleh sumber energi perlu dipantau untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan. Sensor arus adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk membaca nilai arus suatu rangkaian atau suatu sistem [6]. Sensor INA219 adalah sensor arus berbasis shunt resistor yang digunakan untuk mengukur arus, tegangan, dan daya secara real-time.

Sensor INA219 mengukur tegangan di kedua ujung resistor shunt, dan berdasarkan hukum Ohm ($V = I \times R$), arus yang mengalir dapat dihitung. Sensor ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pemantauan daya secara real-time karena memiliki akurasi tinggi dan dapat diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler untuk pengolahan data lebih lanjut [2].

E. Tegangan, Arus, dan Daya

Dalam sistem kelistrikan, hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan daya (P) dijelaskan oleh hukum daya:

$$P = V \times I$$

Daya listrik (P) adalah jumlah energi listrik yang dikonsumsi atau dihasilkan dalam satuan waktu, diukur dalam watt (W). Pemantauan daya dalam sistem energi terbarukan sangat penting untuk menentukan efisiensi dan stabilitas sistem. Tegangan yang stabil dan arus yang konsisten diperlukan untuk menjaga daya yang dihasilkan tetap berada dalam batas optimal. Pengukuran daya yang akurat memberikan informasi penting mengenai kinerja keseluruhan sistem [1].

III. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor arus INA219 dan sensor tegangan, serta menguji performa sistem dalam hal *delay waktu* dan *packet loss* menggunakan aplikasi Blynk. Pengujian *delay* akan dibandingkan menggunakan serial monitor untuk memastikan akurasi data. Tahapan penelitian meliputi kalibrasi sensor, pengujian *delay*, dan pengukuran *packet loss*, yang dilakukan secara berurutan untuk mendapatkan data yang akurat dan relevan.

A. Kalibrasi Sensor Arus INA219

Persiapan Alat dan Bahan:

1. Sensor arus INA219
2. Multimeter digital (sebagai alat pembanding)
3. Sumber arus variabel
4. Mikrokontroler (ESP32)
5. Software pemrograman (Arduino IDE)

Prosedur Kalibrasi:

- a. Hubungkan sensor INA219 ke mikrokontroler sesuai dengan spesifikasi.
- b. Hubungkan sumber arus variabel ke sensor INA219 secara seri.
- c. Catat hasil pembacaan arus dari INA219 dan bandingkan dengan pembacaan multimeter.
- d. Hitung kesalahan (error) antara hasil pembacaan INA219 dan multimeter.
- e. Lakukan kalibrasi dengan menyesuaikan nilai faktor kalibrasi pada kode program hingga hasil pembacaan INA219 sesuai dengan multimeter.

B. Kalibrasi Sensor Tegangan

Persiapan Alat dan Bahan:

1. Sensor tegangan (Resistor divider)
2. Multimeter digital (sebagai alat pembanding)
3. Sumber tegangan variabel
4. Mikrokontroler (ESP32)
5. Software pemrograman (Arduino IDE)

Prosedur Kalibrasi:

- a. Hubungkan sensor tegangan ke mikrokontroler sesuai dengan spesifikasi.
- b. Hubungkan sumber arus variabel ke sensor tegangan secara paralel.
- c. Catat hasil pembacaan tegangan dari sensor dan bandingkan dengan pembacaan multimeter.
- d. Hitung kesalahan (error) antara hasil pembacaan sensor tegangan dan multimeter.
- e. Lakukan kalibrasi dengan menyesuaikan nilai faktor kalibrasi pada kode program hingga hasil pembacaan sensor tegangan sesuai dengan multimeter.

C. Pengujian *Delay* Menggunakan Aplikasi Blynk dan Serial Monitor

Persiapan Alat dan Bahan:

1. Mikrokontroler dengan sensor yang sudah dikalibrasi
2. Stopwatch
3. - Serial monitor (terintegrasi dalam Arduino IDE)
4. Aplikasi Blynk terpasang di perangkat seluler

Prosedur Kalibrasi:

- a. Jalankan sistem dan atur untuk mengirim data sensor ke aplikasi Blynk dan serial monitor pada interval tertentu.
- b. Mulai stopwatch bersamaan dengan pengiriman data dari sistem.
- c. Catat waktu yang diperlukan dari pengiriman data hingga data diterima dan ditampilkan pada aplikasi Blynk serta serial monitor.
- d. Ulangi pengujian ini sebanyak 30 kali untuk mendapatkan data rata-rata.
- e. Analisis data untuk menentukan rata-rata waktu *delay*.

D. Pengujian *Packet Loss* Menggunakan Aplikasi Blynk

Persiapan Alat dan Bahan:

1. Mikrokontroler dengan sensor yang sudah dikalibrasi
2. Aplikasi Blynk terpasang di perangkat seluler)
3. Sistem pemantauan jaringan (Wireshark)

Prosedur Kalibrasi:

Jalankan sistem pemantauan dengan mengirimkan sejumlah paket data dari sensor ke aplikasi Blynk.

Catat jumlah paket yang berhasil diterima oleh aplikasi Blynk.

Lakukan pengujian ini pada beberapa interval waktu dan jumlah paket yang berbeda untuk mendapatkan data yang komprehensif.

E. Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 3 minggu dengan rincian:

1. Minggu 1-2: Persiapan alat dan bahan, serta instalasi sistem.
2. Minggu 2: Kalibrasi sensor arus INA219.
3. Minggu 2: Kalibrasi sensor tegangan.
4. Minggu 3: Pengujian *delay* menggunakan aplikasi Blynk dan serial monitor.
5. Minggu 3: Pengujian *packet loss* menggunakan aplikasi Blynk dan analisis data.

F. Sumber Data

Data diperoleh dari dua sumber utama:

Pengukuran Langsung: Data tegangan dan arus dari sensor setelah kalibrasi dan data *delay* dari pengujian sistem secara real-time menggunakan aplikasi Blynk dan serial monitor.

Aplikasi Blynk: Data *packet loss* yang dikumpulkan selama pengujian sistem dengan aplikasi Blynk.

G. Cara Perolehan Data

Data diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan sensor yang sudah dikalibrasi dan multimeter sebagai pembanding. Data *delay* diperoleh dengan mengukur waktu respon sistem menggunakan stopwatch, serta dibandingkan dengan hasil dari serial monitor. Data *packet loss* dikumpulkan melalui aplikasi Blynk.

H. Metode Analisis Data

Analisis Kalibrasi Sensor: Data dari kalibrasi sensor arus dan tegangan akan dianalisis dengan menghitung nilai error dan menyesuaikan konstanta kalibrasi hingga hasil pembacaan sensor sesuai dengan multimeter.

Analisis *Delay*: Data waktu *delay* akan dianalisis secara statistik untuk menentukan rata-rata dan variasi waktu *delay* yang terjadi, serta perbandingan hasil dari aplikasi Blynk dan serial monitor.

Analisis *Packet Loss*: Data *packet loss* akan dianalisis untuk menentukan persentase paket yang hilang selama pengujian dan mengevaluasi keandalan sistem.

Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan sistem pemantauan yang akurat, efisien, dan andal dalam aplikasi energi terbarukan menggunakan aplikasi Blynk dan validasi dengan serial monitor.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pengujian kalibrasi sensor tegangan

Pada pengujian kali ini, kita melakukan kalibrasi sensor tegangan dengan pembanding adalah multimeter. Diketahui nilai tegangan aktual berdasarkan pengukuran manual menggunakan multimeter adalah 2.4 volt sedangkan nilai tegangan berdasarkan pengukuran sensor tegangan adalah 2.41 volt dengan faktor kalibrasi yaitu sebesar 1.145.

Setelah mendapatkan nilai tegangan yang mendekati nilai aktual. Kita dapat mengukur akurasi dari sensor. Pertama-tama kita harus mencari persentase kesalahan relatif. Untuk mencari persentase kesalahan relatif yaitu menggunakan rumus:

$$\text{persentase kesalahan relatif} = \left(\frac{|V_{\text{terukur}} - V_{\text{aktual}}|}{V_{\text{aktual}}} \right) \times 100 \%$$

Diketahui nilai tegangan terukur 2.41 volt dan tegangan aktual sebesar 2.4 volt. Maka :

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = \left(\frac{|2.41 - 2.4|}{2.4} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = (0.01/2.4) \times 100 \%$$

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = 0.4167 \%$$

Untuk menentukan akurasi digunakan rumus :

$$\text{Akurasi} = 100 \% - \text{persentase kesalahan relatif}$$

$$\text{Akurasi} = 100 \% - 0.4167 \%$$

$$\text{Akurasi} = 99.58 \%$$

Tegangan yang terbaca pada sensor tegangan memiliki akurasi sekitar 99.58 % dibandingkan dengan tegangan yang diukur oleh multimeter, dengan persentase kesalahan relatif sekitar 0.4167 %. Ini menunjukkan bahwa pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan sangat akurat, dengan hanya sedikit perbedaan dibandingkan dengan multimeter.

B. Hasil pengujian kalibrasi sensor arus INA219

Pada pengujian kali ini, kita juga melakukan kalibrasi sensor arus INA219 dengan pembanding adalah multimeter. Diketahui nilai arus aktual berdasarkan pengukuran manual menggunakan multimeter adalah 1.11 mA sedangkan nilai tegangan berdasarkan pengukuran sensor arus INA219

adalah 1.13 mA didapatkan faktor kalibrasi yaitu sebesar 0.47.

Setelah mendapatkan nilai arus yang mendekati nilai aktual. Kita dapat mengukur akurasi dari sensor. Pertama-tama kita harus mencari persentase kesalahan relatif. Untuk mencari persentase kesalahan relatif yaitu menggunakan rumus:

$$\text{persentase kesalahan relatif} = \left(\frac{|A_{\text{terukur}} - A_{\text{aktual}}|}{A_{\text{aktual}}} \right) \times 100 \%$$

Diketahui nilai arus terukur 1.13 mA dan arus aktual sebesar 1.11 mA. Maka:

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = \left(\frac{|1.13 - 1.11|}{1.11} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = (0.02/1.11) \times 100 \%$$

$$\text{Persentase kesalahan relatif} = 1.8018 \%$$

Untuk menentukan akurasi digunakan rumus :

$$\text{Akurasi} = 100 \% - \text{persentase kesalahan relatif}$$

$$\text{Akurasi} = 100 \% - 1.8018 \%$$

$$\text{Akurasi} = 98.20 \%$$

Arus yang terbaca pada sensor memiliki akurasi sekitar 98.20 % dibandingkan dengan arus yang diukur oleh multimeter, dengan persentase kesalahan relatif sekitar 1.8018 %. Ini menunjukkan bahwa pengukuran arus menggunakan sensor INA219 sangat akurat, dengan hanya sedikit perbedaan dibandingkan dengan multimeter.

C. Hasil pengujian delay sistem

TABEL 1
(C)

No	Jam Pengiriman	Jam Terkirim	Delay (second)	Kondisi
1.	16:04:55.735	16:04:56.095	0.36	success
2.	16:06:41.977	16:06:42.327	0.35	success
3.	16:08:08.312	16:08:08.702	0.39	success
4.	16:09:12.300	16:09:12.710	0.41	success
5.	16:10:41.229	16:10:41.649	0.42	success
6.	16:12:15.061	16:12:15.401	0.34	success
7.	16:13:38.176	16:13:38.476	0.30	success
8.	16:14:38.904	16:14:39.194	0.29	success
9.	16:15:28.947	16:15:29.327	0.38	success
10.	16:16:24.798	16:16:25.128	0.33	success
11.	16:17:38.053	16:17:38.413	0.36	success
12.	16:18:26.456	16:18:26.766	0.31	success
13.	16:19:34.140	16:19:34.450	0.31	success
14.	16:20:20.337	16:20:20.577	0.24	success
15.	16:21:29.470	16:21:29.700	0.23	success
16.	16:22:27.495	16:22:27.775	0.28	success
17.	16:23:34.649	16:23:35.059	0.41	success

18.	16:24:59.237	16:24:59.447	0.21	success
19.	16:25:50.492	16:25:50.682	0.19	success
20.	16:26:31.082	16:26:31.362	0.28	success
21.	16:27:36.882	16:27:37.142	0.26	success
22.	16:28:51.217	16:28:51.627	0.41	success
23.	16:30:16.941	16:30:17.271	0.33	success
24.	16:31:25.304	16:31:25.684	0.38	success
25.	16:32:36.715	16:32:37.185	0.47	success
26.	16:33:37.518	16:33:37.868	0.35	success
27.	16:34:30.264	16:34:30.514	0.25	success
28.	16:35:20.705	16:35:20.995	0.29	success
29.	16:36:14.283	16:36:14.623	0.34	success
30.	16:37:02.881	16:37:03.151	0.27	success
Rata- Rata Delay (second)			0.324 second	

Berdasarkan tabel dari hasil 1 (C), pengujian delay yang sudah dilakukan, didapat 30 data perolehan waktu delay. Berdasarkan data yang di dapat, rata-rata delay-nya adalah 0.324 second.

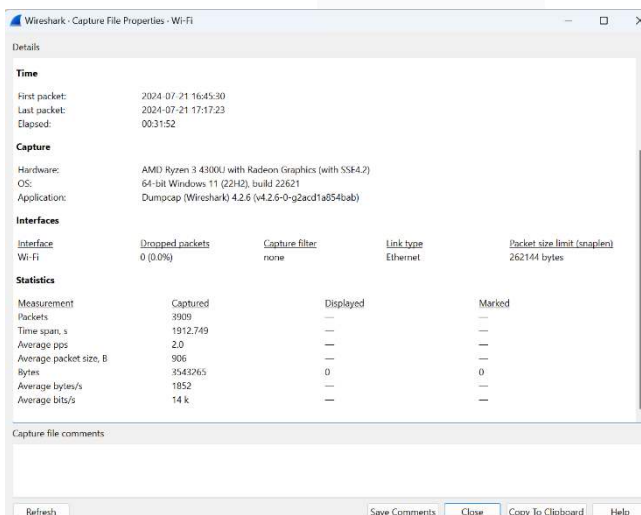
D. Hasil pengujian Packet Loss

TABEL 2
(D)

No	Jam Pengiriman	Jam Terkirim	Delay (second)	Packet loss (%)
1.	16:04:55.735	16:04:56.095	0.36	0
2.	16:06:41.977	16:06:42.327	0.35	0
3.	16:08:08.312	16:08:08.702	0.39	0
4.	16:09:12.300	16:09:12.710	0.41	0
5.	16:10:41.229	16:10:41.649	0.42	0
6.	16:12:15.061	16:12:15.401	0.34	0
7.	16:13:38.176	16:13:38.476	0.30	0
8.	16:14:38.904	16:14:39.194	0.29	0
9.	16:15:28.947	16:15:29.327	0.38	0
10.	16:16:24.798	16:16:25.128	0.33	0
11.	16:17:38.053	16:17:38.413	0.36	0
12.	16:18:26.456	16:18:26.766	0.31	0
13.	16:19:34.140	16:19:34.450	0.31	0
14.	16:20:20.337	16:20:20.577	0.24	0
15.	16:21:29.470	16:21:29.700	0.23	0
16.	16:22:27.495	16:22:27.775	0.28	0
17.	16:23:34.649	16:23:35.059	0.41	0

18.	16:24:59.237	16:24:59.447	0.21	0
19.	16:25:50.492	16:25:50.682	0.19	0
20.	16:26:31.082	16:26:31.362	0.28	0
21.	16:27:36.882	16:27:37.142	0.26	0
22.	16:28:51.217	16:28:51.627	0.41	0
23.	16:30:16.941	16:30:17.271	0.33	0
24.	16:31:25.304	16:31:25.684	0.38	0
25.	16:32:36.715	16:32:37.185	0.47	0
26.	16:33:37.518	16:33:37.868	0.35	0
27.	16:34:30.264	16:34:30.514	0.25	0
28.	16:35:20.705	16:35:20.995	0.29	0
29.	16:36:14.283	16:36:14.623	0.34	0
30.	16:37:02.881	16:37:03.151	0.27	0
Persentase packet loss				0 %

Berdasarkan tabel 2 (D), pengujian yang telah dilakukan dari total 30 pengujian yang telah dilakukan, tidak terdapat kehilangan paket data. Jumlah data yang diterima selalu sebanding dengan jumlah data yang dikirim. Dengan demikian, secara keseluruhan, tidak ada kehilangan paket data yang terjadi dalam seluruh rangkaian pengujian tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem monitoring Baterai Aluminium Udara beroperasi sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, dengan tingkat kehilangan paket data sebesar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian ini tergolong sangat baik karena nilai *Packet Loss*-nya adalah 0% [7].



GAMBAR 1
(D)

Pada gambar 1 (D) merupakan tampilan aplikasi wireshark. Aplikasi ini berfungsi untuk memvalidasi bahwa memang tidak ada *Packet Loss* yang terdeteksi.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur tegangan dan arus. Pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan mencapai akurasi sekitar 99,58% dibandingkan dengan multimeter, dengan kesalahan relatif hanya sekitar 0,4167%. Pengukuran arus menggunakan sensor INA219 juga sangat akurat, dengan tingkat akurasi sekitar 98,20% dan kesalahan relatif sekitar 1,8018%. Selain itu, pengujian *delay* sistem menunjukkan waktu rata-rata *delay* sebesar 0,324 detik, yang dapat diterima dalam konteks aplikasi real-time. Pengujian *Packet Loss* menunjukkan bahwa tidak ada kehilangan data yang terjadi selama 30 kali pengujian, dengan tingkat *Packet Loss* sebesar 0%, yang divalidasi menggunakan aplikasi Wireshark. Hasil ini menegaskan bahwa sistem monitoring Baterai Aluminium Udara yang dikembangkan beroperasi dengan sangat baik, memenuhi kriteria akurasi dan keandalan yang diperlukan.

REFERENSI

- [1] J. Doe, A. Smith, "Advancements in Aluminum-Air Batteries for Renewable Energy Applications," *Journal of Renewable Energy Research*, vol. 12, no. 4, pp. 234-245, 2022.
- [2] R. Brown, L. Johnson, "Real-Time Monitoring of Solar Energy Systems Using INA219 Sensor," *International Journal of Sensor Networks*, vol. 8, no. 3, pp. 123-132, 2021.
- [3] S. Kumar, "Aluminum-Air Batteries: Overview and Applications," *Journal of Energy Storage*, vol. 28, pp. 101-112, 2020.
- [4] L. Wang, Z. Chen, "Efficiency Analysis of Solar Photovoltaic Modules under Different Environmental Conditions," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 204, pp. 150-160, 2019.
- [5] M. Tanaka, "Voltage Sensing Technologies in Modern Electrical Engineering," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 68, no. 5, pp. 1022-1031, 2019.
- [6] I.M.W. Hasan, E. Kurniawan, dan B.S. Aprillia, "ANALISIS PENGGUNAAN AIR ELEKTROLIT PADA SEL ELEKTROLISIS DAN SEL GALVANI SEBAGAI PENYIMPAN DAYA LISTRIK."
- [7] A. A. Sukmandhani, "QoS (Quality of Services)," *Binus Online Learning*, 15 Juni 2020.
- [8] Z.I. Faqih, E. Kurniawan, dan U.K. Usman, "PENERAPAN IOT SEBAGAI MONITORING JARAK JAUH UNTUK MENGETAHUI PROSES ELEKTROLISIS AIR MINERAL."
- [9] I. Maulana and A. Chobir, "STUDI ELEKTROKIMIA BATERAI ALUMINIUM-UDARA DENGAN SILIKA XEROGEL SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA," 2019.
- [10] S. M. Ho, A. Lomi, E. C. Okoroigwe, and L. R. Urrego, "Investigation of solar energy: The case study in Malaysia, Indonesia, Colombia and Nigeria," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [11] R. S. Salsabila, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, "Sistem Catu Daya Penghasil Air Alkali Dengan Modul Solar Cell Menggunakan Penyimpanan Pada Baterai," in Seminar

Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS), 2019, vol. 1, no. 1.

[12] D. Allam , E. Kurniawan , I.M. Rodiana , “Design of Electrolysis Current Control in Water Ionizer with Voltage Source from Solar Energy.”

