

Purwarupa Baterai Aluminium - *Silver Plated Copper* Dengan Elektrolit Hasil Elektrolisis Tenaga Surya Dan IoT Monitoring

1st Muhammad Khirzan Akmal Khoiri
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 khirzanak@student.telkomuniversity.ac.id
 .id

2nd Ekki Kurniawan
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 ekkikurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Uke Kurniawan Usman
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 ukeusman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan mengembangkan baterai aluminium dengan katoda Silver Plated Copper (SPC) dan sistem elektrolisis berbasis panel surya untuk menghasilkan larutan alkaline sebagai elektrolit. Dua jenis larutan, KCl dan NaCl, diuji untuk melihat efektivitas peningkatan pH melalui proses elektrolisis. Hasil menunjukkan bahwa KCl lebih efektif dalam meningkatkan pH serta menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan NaCl. Larutan hasil elektrolisis ini digunakan dalam baterai aluminium untuk menguji performa secara langsung. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor INA219 dan mikrokontroler ESP32 merekam data tegangan, arus, dan kapasitas secara real-time. Pengujian menunjukkan bahwa baterai dengan elektroda SPC mampu menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 1,87 V dan kapasitas total 25,018 mAh selama 17 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara elektrolit KCl, elektroda SPC, dan pemantauan IoT dapat menjadi alternatif solusi energi yang efisien, ramah lingkungan, dan cocok untuk aplikasi energi skala kecil.

Kata kunci: baterai aluminium, silver plated copper, elektrolisis, IoT, elektrolit alkaline, panel surya.

I. PENDAHULUAN

Baterai aluminium memiliki potensi besar sebagai media penyimpanan energi karena aluminium merupakan bahan yang murah, melimpah, dan ramah lingkungan. Baterai ini bekerja melalui reaksi elektrokimia antara anoda aluminium dan oksigen yang diterima oleh katoda. Dengan bantuan elektrolit air alkali, oksigen yang terserap pada katoda mengalami proses reduksi, menghasilkan ion hidroksida (OH^-) yang kemudian bereaksi dengan aluminium di anoda. Reaksi ini menghasilkan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dan arus listrik, menjadikan baterai ini efektif dalam menghasilkan energi.

Baterai aluminium-air memiliki keunggulan lain, yaitu fleksibilitas dalam pemilihan jenis katoda yang dapat menghasilkan keluaran daya, arus, dan ketahanan baterai yang bervariasi, bergantung pada komponen yang digunakan. Umumnya, baterai aluminium menggunakan grafit atau karbon aktif, tembaga, dan zinc sebagai katoda. Namun, material tersebut memiliki kekurangan berupa reaksi reduksi oksigen yang cepat merusak katoda sehingga menyebabkan durabilitas baterai menjadi rendah. Untuk mengatasi hal ini, lapisan perak dapat ditambahkan pada material katoda, sehingga durabilitas baterai dapat menjadi lebih baik.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk mengembangkan sebuah purwarupa baterai aluminium yang menggunakan katoda tembaga berlapis perak atau silver-plated copper yang dapat menghasilkan daya listrik yang cukup baik dan durabilitas yang kuat terhadap reaksi reduksi

oksigen yang terjadi pada katoda baterai. Untuk mengetahui secara detail performa pada baterai sistem IoT monitoring juga akan diaplikasikan sehingga daya tahan dan performa baterai dapat dipantau secara langsung.

II. KAJIAN TEORI

A. Panel Surya (Photovoltaic Panel)

Panel surya atau sel fotovoltaik (PV) adalah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Panel ini menghasilkan arus searah (DC), sehingga diperlukan inverter untuk mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC) agar dapat digunakan dalam sistem listrik umum [1]. Panel PV bekerja berdasarkan struktur p-n junction, di mana lapisan n-type lebih tipis dari p-type untuk memaksimalkan aliran elektron sebelum rekombinasi [2].



GAMBAR 1:
 Panel Surya Monocrystalline

B. Elektrolisis

Elektrolisis merupakan proses kimia di mana arus listrik digunakan untuk menguraikan senyawa dalam larutan elektrolit, menghasilkan reaksi redoks non-spontan. Komponen utama sistem ini meliputi anoda, katoda, dan elektrolit, dengan produk berupa gas dan ion [3] [4]. Agar proses berlangsung stabil dan efisien, diperlukan arus DC dan pengaturan reaksi kimia yang optimal [5].

C. Baterai Aluminium dengan Katoda Silver Plated Copper(SPC)

Baterai aluminium-air memiliki keunggulan berupa biaya rendah dan densitas energi tinggi, dengan reaksi redoks antara aluminium dan oksigen menghasilkan aluminium hidroksida serta arus listrik [6]. Namun, material katoda seperti tembaga atau grafit kurang tahan terhadap reaksi ORR. Untuk meningkatkan durabilitas, digunakan katoda tembaga berlapis perak (SPC) yang memiliki konduktivitas tinggi dan kestabilan kimia yang baik. Lapisan perak

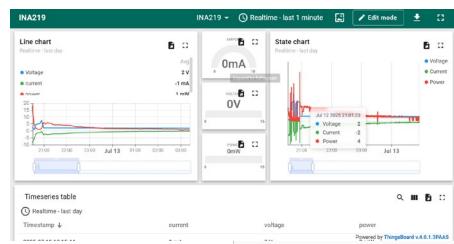
mempercepat transfer elektron, menghambat korosi, dan meningkatkan umur baterai [7].

D. Image Processing untuk Pengujian Katoda

Sistem ini mendeteksi degradasi katoda akibat korosi dengan analisis warna pada ruang HSV dan LAB untuk meningkatkan akurasi segmentasi warna, serta menggunakan watershed segmentation guna memisahkan dan menghitung jumlah serta ukuran pit korosi secara otomatis, sehingga menghasilkan evaluasi morfologi permukaan yang lebih presisi [8], [9].

E. Internet Of Things

IoT merupakan sistem integratif berbasis internet yang memungkinkan pemantauan dan kontrol perangkat secara real-time [10]. Pada sistem pemantauan baterai ini, *Thingsboard* diterapkan dalam *Battery Monitoring System* sebagai *Platform* yang menggunakan sensor seperti INA219 untuk merekam data arus dan tegangan, serta mengirimkannya ke platform cloud untuk pemantauan jarak jauh [11].



GAMBAR 2
Dashboard IoT

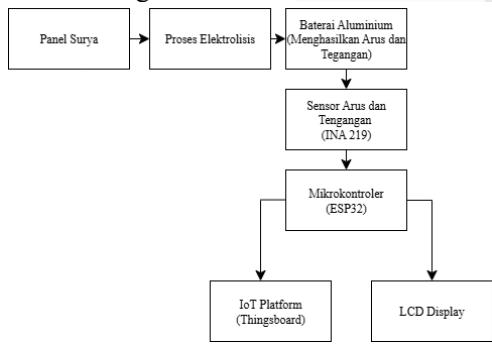
F. Pengujian Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai, dinyatakan dalam milliampere-hour (mAh), dihitung dari arus rata-rata (mA) dan waktu pengosongan (h) menggunakan persamaan (1), sehingga memungkinkan evaluasi performa baterai berdasarkan durasi pemakaian dan konsumsi arus [12].

$$\text{mAh} = \text{I} \times \text{t} \quad (1)$$

III. METODE

A. Desain Perangkat Keras

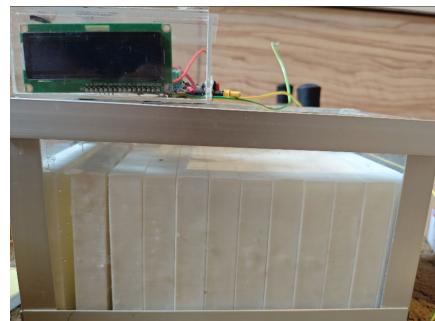


GAMBAR 3
Diagram Blok Sistem

Sistem Purwarupa dirancang sesuai dengan gambar 3 yang bertujuan agar panel *photovoltaic* dapat membuat larutan alkalin lewat proses elektrolisis yang dipakai pada baterai. Sistem monitoring dengan teknologi IoT digunakan pada baterai untuk mengetahui proses

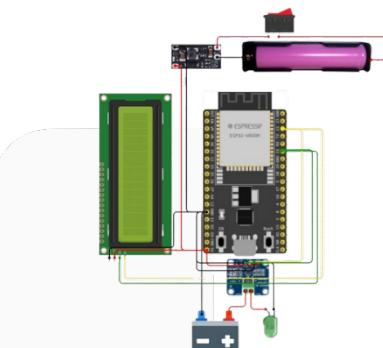
discharge, semua data pada proses baterai ditampilkan di LCD dan *dashboard IoT*.

A. Desain Sistem



GAMBAR 4
Desain Sistem Baterai

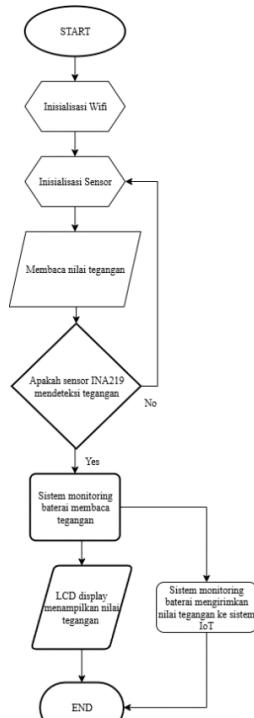
Purwarupa baterai aluminium dengan katoda Silver Plated Copper dirancang menggunakan elektrolisis bertenaga surya dan sistem monitoring berbasis IoT. Seluruh komponen ditempatkan dalam kotak akrilik berukuran 11 × 22 cm yang berisi 12 sel baterai dari filament PLA dan dua partisi: satu untuk sel baterai seri, dan satu lagi untuk komponen elektronik serta modul IoT yang dirancang ringkas dan portabel.



GAMBAR 5
Diagram Kabel Sistem IoT

memperlihatkan rangkaian sistem monitoring berbasis ESP32 yang mendapat suplai daya dari baterai lithium-ion 18650 melalui modul boost step-up DC 2.5V–5V. ESP32 memproses data dari sensor arus INA219 via I2C yang terhubung ke baterai aluminium, menampilkan hasil pada LCD 16x2, dan menggunakan LED sebagai beban uji.

C. Desain Perangkat Lunak

GAMBAR 6
Diagram Alir Perangkat Lunak

Sistem monitoring ini menggunakan sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus baterai, dengan inisialisasi koneksi Wi-Fi dan sensor dilakukan di awal proses. Data pengukuran yang terdeteksi diproses oleh mikrokontroler, ditampilkan pada LCD, dan dikirim secara real-time ke platform IoT untuk pemantauan jarak jauh, penyimpanan, serta analisis performa baterai.

D. Rangkaian Baterai

GAMBAR 7
Desain Sel Baterai

Sel baterai Aluminium-Silver Plated Copper dibuat menggunakan teknologi 3d print dan dirangkai menjadi 12 seri, hal ini bertujuan agar baterai dapat mengeluarkan potensi tegangan maksimalnya. Baterai diuji dan diukur dengan menggunakan sensor INA219 yang terkoneksi dengan mikrokontroler ESP32 yang sudah terintegrasi dengan platform IoT.

E. Sistem Elektrolisis

GAMBAR 8
Sistem Elektrolisis

Kami menggunakan sistem elektrolisis sederhana berbasis energi surya menggunakan panel 20 Wp (18 V, 1,18 A) yang mengalirkan listrik ke elektroda dalam larutan KCl dan NaCl untuk meningkatkan konduktivitas. Elektroda diposisikan dalam satu wadah dengan pemisahan fisik pada anoda agar hasil elektrolisis tidak tercampur. Proses ini menghasilkan ion OH⁻ di katoda yang menaikkan pH larutan, menjadikannya bersifat basa dan potensial sebagai elektrolit dalam baterai karena meningkatkan stabilitas dan efisiensi konduktivitas.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalibrasi Alat

TABEL 1
Kalibrasi Sensor INA219

Power Input	Multimeter (V)	INA 219 (V)	Akurasi Sensor (%)
Adjustable Adaptor 3-12V(3V)	3,39	3,38	99,82%
Adjustable Adaptor 3-12V(4V)	4,46	4,44	99,60%
Adjustable Adaptor 3-12V(5V)	5,55	5,55	99,86%
Adjustable Adaptor 3-12V(7V)	7,33	7,32	99,97%
Rata-Rata			99,81%

Kalibrasi sensor INA219 terhadap multimeter menunjukkan hasil pembacaan yang sangat akurat dengan rata-rata akurasi 99,81%, menunjukkan selisih yang sangat kecil pada berbagai variasi tegangan input. Dengan keakuratan tinggi dan kemampuan integrasi digital, INA219 dinilai cocok digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT dibandingkan pengukuran manual.

B. Pengujian Panel Surya



GAMBAR 9
Grafik Pengujian Panel Surya

Hasil menunjukkan bahwa intensitas cahaya tertinggi dan paling stabil terjadi pada siang hari (± 10450 – 10300 lux), diikuti arus tertinggi ($\pm 0,854$ A) dan tegangan stabil, menandakan efisiensi elektrolisis optimal. Pada pagi dan sore hari, intensitas cahaya serta arus lebih rendah, menunjukkan bahwa performa sistem elektrolisis sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari.

C . Hasil Pengujian Elektrolisis



GAMBAR 10
Grafik proses elektrolisis KCl



GAMBAR 11
Grafik Proses elektrolisis NaCl

Berdasarkan kedua grafik perubahan pH larutan terhadap waktu selama proses elektrolisis selama 30 menit, terlihat bahwa larutan KCl mengalami peningkatan pH yang lebih signifikan, dari 11,4 menjadi 12,6, sedangkan larutan NaCl hanya meningkat dari 9,5 menjadi 9,9. Hal ini menunjukkan bahwa larutan pertama, yang kemungkinan menggunakan KCl, lebih efektif dalam menghasilkan kondisi basa selama elektrolisis dibandingkan larutan kedua, yang kemungkinan

menggunakan NaCl. Dengan demikian, larutan KCl lebih optimal digunakan sebagai elektrolit dalam sistem baterai aluminium karena mampu meningkatkan pH lebih cepat dan stabil.

D. Pengujian Elektrolit pada baterai

TABEL 2
Pebandingan dua elektrolit pada baterai

Jenis Elektrolit	Arus (A)	Tegangan (V)	pH
NaCl → NaOH	0,070	0,526	9,0
KCl → KOH	0,091	1,276	12,5

Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektrolisis KCl lebih efektif dibandingkan NaCl, dengan tegangan (1,341 V) dan pH akhir (12,5) yang lebih tinggi dibandingkan NaCl (0,526 V dan pH 9,9). Jika disusun dalam 12 sel seri, KCl menghasilkan tegangan total 16,092 V, sedangkan NaCl hanya 6,312 V, dengan arus tetap. Hal ini membuktikan bahwa KCl lebih unggul dalam membentuk ion OH^- dan mendukung efisiensi sistem baterai aluminium.

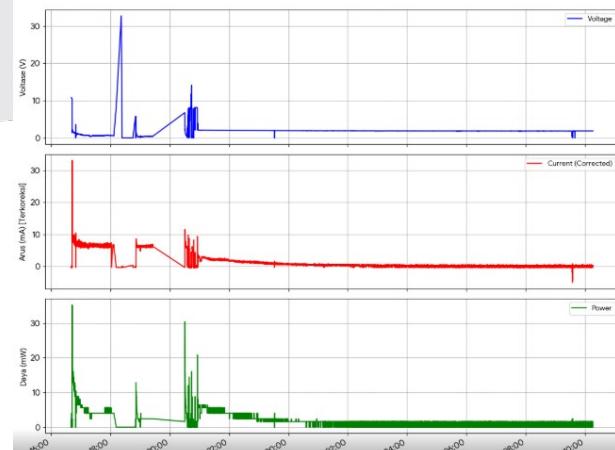
E. Pengujian Durabilitas SPC



GAMBAR 12
Pengujian Katoda Tembaga dan SPC

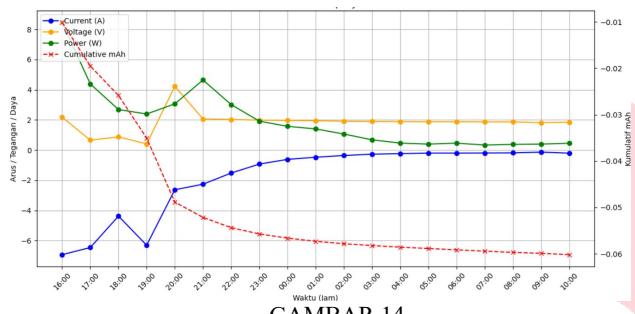
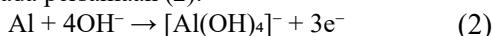
Gambar 11 membandingkan durabilitas katoda tembaga lapis perak dan katoda tembaga berdasarkan luas kerusakan, jumlah pit, dan skor degradasi yang diperoleh melalui analisis warna (HSV dan LAB) serta segmentasi watershed. Katoda lapis perak menunjukkan luas kerusakan lebih rendah (21,64% vs 72,28%) dan skor degradasi lebih kecil (42,14 vs 69,19), meskipun jumlah pit lebih banyak, menandakan kerusakan bersifat lokal dan tidak meluas, sehingga menawarkan ketahanan korosi lebih baik untuk penggunaan jangka panjang.

E. Pengujian Baterai



GAMBAR 13
Grafik Pengujian Baterai dari IoT

baterai menghasilkan tegangan kerja rata-rata 1,87 V dengan standar deviasi 1,01 V, disertai anomali lonjakan hingga 32,76 V dan penurunan ke 0 V akibat gangguan sesaat atau kesalahan pencatatan. Arus rata-rata setelah koreksi polaritas adalah 1,35 mA dengan maksimum 33,08 mA dan nilai negatif -5,00 mA yang mengindikasikan kemungkinan arus balik atau kesalahan desain. Daya rata-rata tercatat 1,74 mW, merepresentasikan hasil interaksi tegangan dan arus beban. Adapun reaksi utama melibatkan oksidasi aluminium dijelaskan pada persamaan (2):



GAMBAR 14
Grafik Pengujian Kapasitas Baterai

grafik tegangan menunjukkan penurunan landai seiring waktu, menandakan pelepasan muatan normal, sedangkan grafik arus dan daya memperlihatkan pola fluktuatif yang saling berbanding lurus. Grafik kapasitas (mAh) meningkat linier hingga mencapai 25,01 mAh dalam 17 jam 34 menit, menjadi indikator utama kinerja baterai aluminium–tembaga berlapis perak yang diuji.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini membuat sistem baterai aluminium dengan mengoptimalkan pemilihan elektrolit, material elektroda, dan sistem monitoring. Dua jenis elektrolit, yaitu KCl dan NaCl, digunakan untuk menghasilkan larutan alkaline melalui proses elektrolisis tenaga surya, sementara elektroda katoda menggunakan bahan Silver Plated Copper (SPC) yang berfungsi meningkatkan efisiensi reaksi reduksi oksigen (ORR). Sistem elektrolisis bertenaga panel surya 20 Wp dirancang untuk menguji peningkatan pH dan pembentukan ion OH⁻. Hasil pengujian menunjukkan bahwa KCl lebih efektif dibandingkan NaCl, menghasilkan pH tertinggi sebesar 12,5 serta tegangan dan arus lebih besar. Untuk memantau performa baterai, digunakan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dengan sensor INA219 dan mikrokontroler ESP32, yang mampu merekam tegangan, arus, daya, dan kapasitas secara real-time. Baterai dengan katoda SPC menunjukkan tegangan rata-rata 1,87 V dan kapasitas sebesar 25,018 mAh selama 17 jam 34 menit pengujian, dengan pola pelepasan muatan (discharge) yang stabil dan konsisten.

REFERENSI

- [1] N. Rani Alham *et al.*, "APLIKASI PHOTOVOLTAIC CELL (PV) TERHADAP VARIASI BEBAN ELEKTRIK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF," 2021.
- [2] A. S. Al-Ezzi and M. N. M. Ansari, "Photovoltaic Solar Cells: A Review," Aug. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/asi5040067.
- [3] N. A. C. Lestari, W. A. Nugroho, and H. Nugroho, "Analisis Komparasi Jenis Teknologi Elektrolisis Hidrogen Sebagai Alternatif Energi Bersih di Indonesia," **Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah**, vol. 14, no. 2, pp. 196–206, Juli–Desember 2022, doi: 10.33322/energi.v14i2.1646."
- [4] S. Zaenab, N. Haq, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, "ANALISIS PEMBANGKIT ELEKTRIK MENGGUNAKAN MEDIA AIR GARAM SEBAGAI LARUTAN ELEKTROLIT ANALYSIS OF POWER PLANT USING SALT WATER AS ELECTROLYTE."
- [5] P. Fisika, F. Sains dan Teknologi, and U. Alauddin Makassar, "JURNAL SAINS FISIKA," 2021. [Online]. Available: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/sainfis>
- [6] B. Rani, J. K. Yadav, P. Saini, A. P. Pandey, and A. Dixit, "Aluminum-air batteries: current advances and promises with future directions," Jun. 03, 2024, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/d4ra02219j.
- [7] J. Ryu, H. Jang, J. Park, Y. Yoo, M. Park, and J. Cho, "Seed-mediated atomic-scale reconstruction of silver manganate nanoplates for oxygen reduction towards high-energy aluminum-air flow batteries," *Nat Commun*, vol. 9, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41467-018-06211-3.
- [8] A. Li, H. Ma, and S. Xu, "Three-Dimensional Morphology and Watershed-Algorithm-Based Method for Pitting Corrosion Evaluation," *Buildings*, vol. 12, no. 11, Nov. 2022, doi: 10.3390/buildings12111908.
- [9] M. Khayatazad, L. De Pue, and W. De Waele, "Detection of corrosion on steel structures using automated image processing," *Developments in the Built Environment*, vol. 3, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100022.
- [10] A. Fitra Ritonga, S. Wahyu, and F. Octavia Purnomo, "Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa SMK Jakarta 1," vol. 5, no. 1, 2020, [Online]. Available: <http://ejurnal.kpmunj.org>
- [11] R. Samikannu, A. Yahya, M. U. Tariq, M. Asim, and M. Babar, "IoT based battery energy monitoring and management for electric vehicles with improved converter efficiency," *PLoS One*, vol. 18, no. 10 October, Oct. 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0286573.
- [12] R. Putra Hanifan, E. Kurniawan, and E. Susanto, "Intergrasi Modul Sel Surya Pada Baterai Aluminium," Oct. 2024.