PURWARUPA BATERAI ALUMINIUM TEMBAGA DENGAN ELEKTROLIT HASIL ELEKTROLISIS BERBASIS TENAGA SURYA DAN SISTEM MONITORING BERBASIS IOT

1st Fauzan Majid Hadi Yunus
Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
janmajid@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dr. Ekki Kurniawan, M.T.
Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
ekkikurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T.
Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
ukeusman@telkomuniversity.ac.id

Dampak negatif baterai konvensional terhadap lingkungan dan kesehatan mendorong kebutuhan mendesak akan teknologi penyimpanan energi yang aman dan berkelanjutan. Penelitian ini menjawab tantangan tersebut dengan mengembangkan purwarupa baterai Aluminium-Tembaga (Al-Cu) ramah lingkungan yang inovatif. Keunikan sistem ini terletak pada penggunaan elektrolit Kalium Hidroksida (KOH) yang diproduksi mandiri melalui proses elektrolisis larutan KCl, dengan sumber energi terbarukan dari tenaga surya. Untuk validasi kinerja, sistem ini diintegrasikan dengan pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor INA219 yang memantau tegangan dan arus secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan proses elektrolisis dalam menghasilkan elektrolit KOH dengan pH 12.5. Purwarupa baterai yang terdiri dari anoda Tembaga (Cu) dan katoda Aluminium (Al) ini terbukti fungsional, mampu menyalakan beban seperti motor DC dan kipas. Baterai ini memiliki kapasitas terukur sebesar 33.35mAh dengan tegangan kerja rata-rata 1.9V. Sistem monitoring IoT yang diterapkan berhasil diimplementasikan untuk akuisisi dan visualisasi data kinerja baterai secara akurat.

Kata Kunci: Baterai Al-Cu, Elektrolisis, Energi Terbarukan, IoT, Tenaga Surya, KOH

I. PENDAHULUAN

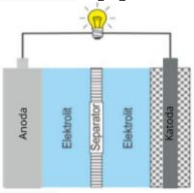
Penggunaan baterai konvensional telah menimbulkan dampak negatif serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Baterai jenis ini mengandung material berbahaya seperti timbal, kadmium, dan merkuri yang dapat mencemari ekosistem serta memicu masalah kesehatan. Seiring dengan meningkatnya permintaan akan penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan, serta kesadaran akan perubahan iklim, pengembangan teknologi baterai alternatif yang lebih bersih dan aman menjadi sebuah kebutuhan mendesak.[1]

Menjawab tantangan ini, Baterai Aluminium-Tembaga (Al-Cu) menawarkan potensi sebagai solusi inovatif. Baterai ini memanfaatkan material aluminium dan tembaga yang lebih ramah lingkungan dan melimpah, sehingga dapat mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh baterai konvensional. Kunci dari operasional baterai ini adalah larutan elektrolitnya. Inovasi utama dalam penelitian ini terletak pada metode produksinya, di mana elektrolit fungsional dihasilkan melalui proses elektrolisis yang ditenagai oleh sumber energi terbarukan seperti panel surya. Elektrolisis sendiri merupakan reaksi dekomposisi senyawa elektrolit menggunakan arus listrik, sebuah prinsip yang dimanfaatkan untuk menciptakan komponen baterai secara mandiri dan berkelanjutan.[2][3]

II. KAJIAN TEORI

Tugas akhir ini bertujuan membuat purwarupa baterai aluminium tembaga dan menganalisis cairan elektrolit NaCl dan KOH, serta *monitoring IoT*.

Studi mengenai baterai aluminium saat ini masih berada pada tahap awal pengembangan, namun telah dianggap sebagai salah satu teknologi paling menarik untuk menggantikan sistem baterai konvensional.[4] Keunggulan utamanya terletak pada potensi kepadatan energi yang tinggi, biaya material yang rendah, serta tingkat keamanan yang lebih baik, menjadikannya pelengkap ideal untuk teknologi baterai lithium yang ada saat ini.[5]



Gambar 2. 1 Struktur Baterai [6]

Aluminium merupakan material anoda yang sangat menarik untuk aplikasi penyimpanan energi. Dengan berat atom 26,98 dan sifat trivalennya, aluminium memiliki ekuivalen elektrokimia sebesar 2,98 Ah/g dan kapasitas volumetrik mencapai 8,04 Ah/cm³.[7]

Tabel 2.1 Energi Potensial Logam[7]

Jenis Baterai	Reaksi Anoda	Anoda Potensial (V)
Li/air	$Li + OH^- = LiOH + e^-$	-3.05
Al/air	$Li + OH^- = Al(OH)3 + 3e^-$	-2.35
Mg/air	$Li + OH^- = Mg(OH)2 + 2e^-$	-2.69
Ca/air	$Li + OH^- = Ca(OH)2 + 2e^-$	-3.01
Fe/air	$Li + OH^- = Fe(OH)2 + 2e^-$	-0.88
Zn/air	$Li + OH^- = Zn(OH)2 + 2e^-$	-1.25

Nilai ini lebih unggul dibandingkan logam lain seperti seng (0,82 Ah/g) dan bahkan lithium (2,06 Ah/cm³ secara volume).[7] Selain itu, aluminium adalah logam yang

melimpah dan relatif murah. Baterai aluminium umumnya menggunakan elektrolit alkali untuk mendapatkan kinerja yang optimal dan polarisasi yang rendah. Namun, tantangan utama dalam penggunaannya adalah reaksi korosi (degradasi mandiri) antara aluminium dengan larutan alkali yang menghasilkan gas hidrogen, sehingga dapat menurunkan efisiensi dan kapasitas baterai.[7][8]

Untuk mendukung operasional baterai secara berkelanjutan, penelitian ini memanfaatkan energi terbarukan dari panel surya.[9] Panel surya adalah perangkat yang mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung, umumnya menggunakan material silikon sebagai bahan dasar. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan untuk menjalankan proses elektrolisis, sebuah metode yang sangat berperan dalam peningkatan efisiensi penyimpanan daya. [6][10][11]

Elektrolisis adalah proses dekomposisi kimia dalam suatu elektrolit yang dipicu oleh arus listrik, berlandaskan pada hukum Faraday. Dalam proses ini, dua elektroda (anoda dan katoda) dialiri listrik, menyebabkan ion-ion dalam larutan bergerak ke elektroda dengan muatan berlawanan. Ketika larutan garam seperti NaCl atau KCl dielektrolisis, katoda (negatif) akan menghasilkan larutan basa (alkali) seperti NaOH atau KOH, sementara anoda (positif) menghasilkan larutan asam. Larutan alkali inilah yang kemudian dapat berfungsi sebagai elektrolit aktif untuk baterai Al-Cu.[12]

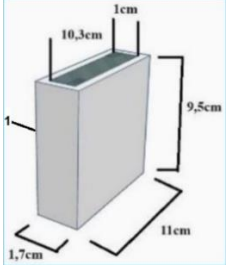
Seiring berkembangnya teknologi internet, muncul konsep *Internet of Things (IoT)* yang memungkinkan berbagai perangkat terhubung dan bertukar data. Dalam penelitian ini, sistem monitoring berbasis IoT dikembangkan untuk memantau kinerja baterai secara akurat dan *real-time*.[13] Arsitektur sistem yang diimplementasikan menggunakan server lokal dengan basis data MySQL. Pemilihan basis data ini didasarkan pada studi yang menunjukkan bahwa MySQL memiliki kinerja yang sangat baik dalam hal penggunaan sumber daya dan penyimpanan data sensor *IoT* jangka panjang dalam volume besar, sehingga memadai untuk kebutuhan pengujian skala laboratorium.[14]

III. METODE

Bab ini menguraikan metodologi yang digunakan dalam penelitian, mencakup desain sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta prosedur eksperimental yang dilakukan untuk mengembangkan dan menguji purwarupa baterai Aluminium-Tembaga.

A. Desain Sistem

Sistem ini dirancang secara terintegrasi yang terdiri dari tiga subsistem utama: unit produksi elektrolit, unit baterai Aluminium-Tembaga (Al-Cu), dan unit monitoring berbasis IoT.



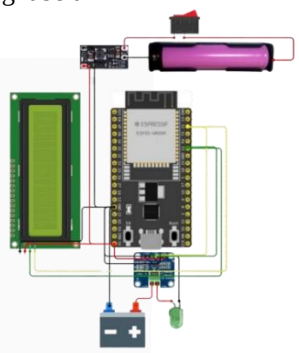
Gambar 3. 1 Desain Wadah

Unit Baterai Al-Cu terdiri dari anoda Tembaga (Cu) dan katoda Aluminium (Al). Wadah sel baterai dibuat menggunakan teknologi cetak 3D dengan material Polylactic Acid (PLA) yang memiliki ketahanan korosi dan kestabilan struktur yang baik. Dimensi setiap wadah sel adalah 11 cm x 1.7 cm x 9.5 cm.

Unit Produksi Elektrolit menggunakan panel surya jenis monocrystalline dengan daya puncak 20 Wp. Secara fungsional, panel surya (PV) menjadi sumber daya utama untuk proses elektrolisis larutan garam. Hasil dari elektrolisis ini adalah larutan alkali yang berfungsi sebagai elektrolit untuk sel baterai Al-Cu. Kinerja baterai, yang meliputi parameter tegangan dan arus, dipantau secara kontinu oleh sensor. Data dari sensor diolah oleh mikrokontroler, kemudian ditampilkan pada panel LCD lokal dan dikirimkan ke platform IoT untuk pemantauan jarak jauh.

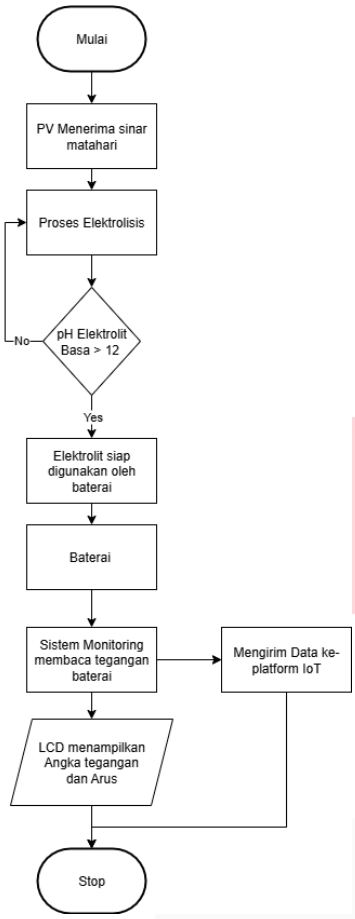
ESP32 digunakan sebagai alat proses system monitoring karena memiliki keunggulan pada Wi-Fi dan Bluetooth untuk konektivitas IoT. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur tegangan dan arus secara akurat dengan rentang pengukuran 0-26V dan komunikasi via I2C. Panel LCD 16x2 dengan antarmuka I2C digunakan sebagai media penampil data lokal karena konsumsi dayanya yang rendah dan kemudahan integrasi. Seluruh sistem dirakit dalam casing utama yang terbuat dari akrilik karena kekuatan struktur dan ketahanan korosinya yang tinggi.

B. Diagram Pengkabelan



Gambar 3. 2 Diagram Pengkabelan

Rangkaian elektronik sistem dirancang seperti pada Gambar 3.2. ESP32 berfungsi sebagai unit pemroses utama yang terhubung dengan sensor INA219 melalui jalur I2C (SDA, SCL). Sensor INA219 dihubungkan dengan baterai untuk memonitor tegangan dan arus. Hasil pembacaan kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 I2C yang juga terhubung ke pin I2C pada ESP32.



Gambar 3. 3 Diagram Alir

Diagram alir pada Gambar 3.3 menyajikan alur kerja logis dari keseluruhan sistem yang dirancang, dimulai dari tahap awal hingga akhir. Proses diawali ketika panel surya (PV) menangkap energi dari sinar matahari yang kemudian dimanfaatkan untuk menjalankan proses elektrolisis. Setelah kondisi terpenuhi, elektrolit dianggap siap dan digunakan untuk mengaktifkan purwarupa baterai Aluminium-Tembaga. Selanjutnya, sistem monitoring yang terintegrasi akan mengakuisisi data tegangan dan arus dari baterai. Data yang telah diakuisisi ini kemudian disajikan melalui dua jalur output: ditampilkan secara lokal pada layar LCD untuk pemantauan langsung, dan secara bersamaan dikirimkan secara nirkabel ke platform Internet of Things (IoT) untuk pencatatan data dan pemantauan jarak jauh, sebelum proses kerja sistem berakhir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalibrasi Sensor INA 219

Tabel 4. 1 Kalibrasi Sensor INA 219

Multimeter (V)	INA 219 (V)	Multimeter (mA)	INA 219 (mA)	Akurasi Sensor (%)
1.602	1.60	160.2	160	99.88%
1.600	1.60	159.8	160	99.94%
1.593	1.60	159.5	159	99.75%
1.469	1.47	146.6	147	99.83%
1.460	1.46	146.1	146	99.97%
1.459	1.46	145.8	146	99.90%
6.641	6.65	72.76	73	99.77%
6.625	6.63	72.48	72	99.63%
6.609	6.61	72.24	72	99.83%
12.054	12.01	120.58	121	99.65%
12.045	12.04	120.58	121	99.81%
12.033	12.03	120.32	120	99.86%
Rata - rata				99.73%

Validasi akurasi sistem monitoring dilakukan melalui kalibrasi sensor INA219 dengan membandingkan hasil pembacaannya terhadap multimeter standar. Pengujian ini menggunakan berbagai sumber daya, mulai dari Baterai AA, AAA, 9V, hingga Adaptor 12V, untuk memastikan sensor bekerja secara akurat di berbagai rentang pengukuran yang relevan. Hasil kalibrasi menunjukkan performa sensor yang sangat memuaskan dengan rata-rata akurasi keseluruhan mencapai 99.73%. Angka ini mengindikasikan rata-rata kesalahan (error) pembacaan yang sangat kecil, hanya sekitar 0.27%. Akurasi yang terbukti tinggi ini memvalidasi pemilihan komponen sensor dan memastikan bahwa seluruh data kinerja baterai yang ditampilkan pada LCD maupun yang dikirimkan ke platform IoT adalah valid dan dapat dipercaya. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengimplementasikan sistem monitoring IoT yang terintegrasi dan akurat telah berhasil dicapai serta divalidasi melalui proses ini.

B. Pengujian Panel Surya

Tabel 4. 2 Pengujian Panel Surya

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Intensitas Cahaya (Lux)	Arus (A)
07:30	18.97	32.200	0.263
07:35	19.05	25.700	0.272
07:40	19.03	28.300	0.271
07:45	18.95	27.700	0.282
07.50	18.95	29.500	0.295
11.30	18.37	105.500	0.857
11.35	18.38	103.700	0.857
11.40	18.42	104.600	0.861
11.45	18.40	102.600	0.845
11.50	18.50	103.000	0.852
15.30	18.69	51.500	0.361
15.35	18.68	51.600	0.358
15.40	18.69	51.100	0.354
15.45	18.60	48.000	0.332
15.50	18.63	46.800	0.323

Tabel 4.2 menyajikan data hasil karakterisasi panel surya yang diukur pada tiga interval waktu berbeda: pagi (07:30-07:50), siang (11:30-11:50), dan sore (15:30-15:50). Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan kelayakan panel surya sebagai sumber daya utama untuk proses elektrolisis di bawah kondisi pencahayaan yang bervariasi.

Hasil pengukuran menunjukkan korelasi yang kuat antara intensitas cahaya (Lux) dengan arus listrik (A) yang dihasilkan. Kinerja puncak teramati pada pengukuran siang hari, di mana intensitas cahaya mencapai lebih dari 100.000 Lux dan menghasilkan arus keluaran maksimal hingga 0.861 A. Sebaliknya, pada pagi dan sore hari, saat intensitas cahaya lebih rendah, arus yang dihasilkan secara proporsional juga lebih kecil.

C. Elektrolisis

Gambar 4. 1 Elektrolisis NaCl

Proses elektrolisis dilakukan terhadap larutan Garam (NaCl) sebagai pembuktian konsep awal. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memvalidasi bahwa rangkaian elektrolisis yang ditenagai oleh panel surya mampu mengubah larutan netral menjadi larutan yang bersifat basa (alkali). Hasil pengukuran menggunakan pH meter mengonfirmasi keberhasilan proses ini, di mana larutan yang semula netral berhasil diubah menjadi larutan alkali dengan nilai pH 9.9.

Gambar 4. 2 Elektrolisis KCl

Menindaklanjuti hasil dari elektrolisis NaCl, penelitian dilanjutkan dengan menggunakan larutan Kalium Klorida (KCl) dengan tujuan untuk menghasilkan elektrolit Kalium Hidroksida (KOH) yang lebih superior. Proses elektrolisis yang ditenagai oleh panel surya menunjukkan keberhasilan yang signifikan, menghasilkan larutan dengan tingkat kebasaan yang sangat tinggi, yaitu pH 12.5. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang dicapai melalui elektrolisis NaCl (pH 9.9) dan terbukti lebih ideal untuk memaksimalkan kinerja baterai. Tingkat kebasaan yang kuat ini secara langsung memengaruhi laju reaksi elektrokimia pada elektroda Aluminium-Tembaga secara positif. Berdasarkan hasil yang unggul ini, larutan KOH hasil elektrolisis dipilih sebagai medium utama dalam perakitan purwarupa baterai, yang pada akhirnya terbukti fungsional untuk menyalakan beban dan memungkinkan baterai mencapai kapasitas terukur.

D. Percobaan Baterai

Untuk menetapkan kinerja dasar, pengujian awal dilakukan dengan menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) standar sebagai elektrolit. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengukur potensi maksimal dari desain fisik sel baterai Al-Cu yang telah dirancang.

Gambar 4. 3 Percobaan NaOH

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa baterai mampu menghasilkan tegangan rangkaian terbuka sebesar 0.823V.

Gambar 4. 4 Efek Korosif NaOH

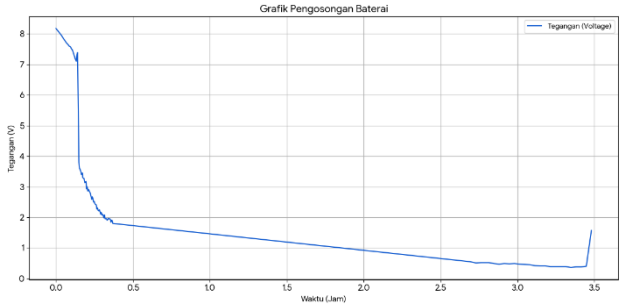
Meskipun berhasil membangkitkan listrik, gambar 4.4 menunjukkan efek samping yang signifikan. Penggunaan NaOH standar ini menimbulkan panas berlebih dan menyebabkan korosi yang parah pada lempengan elektroda. Oleh karena itu, elektrolit NaOH standar dinilai tidak cocok untuk digunakan lebih lanjut dalam penelitian ini karena sifatnya yang sangat korosif.

Gambar 4. 5 Percobaan NaOH Elektrolisis

Pengujian dilanjutkan dengan menggunakan elektrolit NaOH yang dihasilkan sendiri melalui proses elektrolisis berbasis tenaga surya. Tahap ini bertujuan untuk memvalidasi apakah elektrolit hasil kreasi mandiri ini memiliki kualitas yang sebanding atau lebih baik dari NaOH standar. Hasil pengujian menunjukkan kinerja yang kurang baik. Meskipun konfigurasi enam sel baterai yang disusun seri mampu membangkitkan tegangan sebesar 1.837 V , nilai tegangan efektif per sel hanya mencapai 0.35 V. Nilai ini lebih dari dua kali lipat lebih rendah dibandingkan tegangan yang dihasilkan oleh NaOH standar (0.823 V). Hasil yang tidak memuaskan ini mengindikasikan bahwa proses elektrolisis NaCl tidak berhasil menciptakan elektrolit yang cukup fungsional untuk aplikasi baterai.

Gambar 4. 6 Percobaan KOH Elektrolisis

Tahap pengujian puncak dilakukan dengan menggunakan elektrolit Kalium Hidroksida (KOH) yang sepenuhnya diproduksi oleh sistem elektrolisis berbasis tenaga surya. Hasilnya, purwarupa baterai menunjukkan kinerja terbaik dari seluruh rangkaian percobaan dan terbukti fungsional, mampu menyalakan beban nyata seperti motor DC dan kipas. Pengukuran kuantitatif pada rangkaian 6 sel seri 2 paralel menunjukkan tegangan sebesar 7.51 V, dengan tegangan efektif per sel mencapai 1.25 V. Kinerja ini jauh lebih unggul dibandingkan dengan elektrolit berbasis NaOH.



Gambar 4. 7 Grafik Pengosongan Baterai

Melalui uji pengosongan lebih lanjut, baterai ini menunjukkan kapasitas terukur sebesar 33.35 mAh. Keberhasilan ini memvalidasi keseluruhan konsep penelitian, membuktikan bahwa sistem terintegrasi ini mampu menghasilkan perangkat penyimpan energi yang berfungsi dengan baik.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, membangun, dan memvalidasi sebuah sistem baterai Aluminium-Tembaga (Al-Cu) yang terintegrasi penuh dengan sistem produksi elektrolit berbasis tenaga surya dan monitoring IoT. Purwarupa baterai fungsional dengan anoda tembaga (Cu) dan katoda aluminium (Al) berhasil diwujudkan menggunakan elektrolit Kalium Hidroksida (KOH) yang diproduksi mandiri melalui proses elektrolisis larutan KCl. Elektrolit KOH dengan tingkat kebasaan superior (pH 12.5) terbukti efektif untuk mengaktifkan baterai dan menyalakan beban nyata, tidak seperti elektrolit berbasis NaOH yang kinerjanya tidak memadai.

Secara kuantitatif, purwarupa baterai menunjukkan kinerja yang terukur dengan kapasitas sebesar 33.35 mAh, yang diperoleh dari uji pengosongan selama 3,3 jam dengan tegangan kerja rata-rata 1.9 V. Keberhasilan sistem ini didukung oleh implementasi sistem monitoring IoT yang akurat untuk memantau kinerja baterai secara real-time, dengan sensor INA219 yang telah terkalibrasi dan memiliki akurasi rata-rata 99.73%. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mendemonstrasikan kelayakan konsep energi terbarukan yang terintegrasi, mulai dari produksi elektrolit hingga perangkat penyimpan energi yang fungsional dan termonitor.

REFERENSI

[1] Maulana Kautsar, “Desain Prototype Baterai Alumunium Udara dengan Bahan Elektrolite Air Alkali,” 2024.

[2] D. Fahreza, D. Kurniawati, N. Subeki, and K. Person, “Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2018 ISSN (Cetak) 2527-6042 eISSN (Online).”

[3] Isana SYL, *Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel*. Yogyakarta, 2010. [Online]. Available: www.kimia.uny.ac.id

[4] J. Chen, D. H. C. Chua, and P. S. Lee, “The Advances of Metal Sulfides and In Situ Characterization Methods beyond Li Ion Batteries: Sodium, Potassium, and Aluminum Ion Batteries,” Jan. 01, 2020, *John Wiley and Sons Inc.* doi: 10.1002/smtd.201900648.

[5] B. N. D. H. and W. E. M. Ehsan Faegh, “Practical assessment of the performance of aluminium battery technologies,” 2020.

[6] Reva Putra Hanifan, “Integrasi Modul Sel Surya Pada Baterai Aluminium,” Oct. 2024.

[7] Q. Li and N. J. Bjerrum, “Aluminum as anode for energy storage and conversion: a review.”

[8] H. Yang *et al.*, “The Rechargeable Aluminum Battery: Opportunities and Challenges,” Aug. 26, 2019, *Wiley-VCH Verlag*. doi: 10.1002/anie.201814031.

[9] M. Saleh Al Amin, I. F. Kartika, and Y. Irwansi, “Penggunaan Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Pada Alat Pengering Makanan,” vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.31851/ampere.

[10] S. Aryza, A. Putera Utama Siahaan, and Z. Lubis, “Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengering Pupuk Petani Portabel,” *IT Journal Research and Development*, vol. 2, no. 1, 2017.

[11] Mochamad Gattan Kertanegara, “Pengaruh Molaritas Cairan Elektrolit dan Pembuatan Karbon Grafit sebagai Katoda terhadap Kel,” 2024.

[12] E. Nuriman Wicaksanajati and U. Kurniawan Usman, “ANALISIS PEMBUATAN ELEKTROLIT

DENGAN PANEL SURYA 1 í µí± í µí±¡ Nuriman Wicaksanajati," 2024.

[13] D. A. Mahendra and S. Winardi, "Perancangan Realtime Database Firebase untuk IoT dan Unity Menggunakan Metode SDLC," *Jurnal Ilmu Komputer dan Bisnis*, vol. 14, no. 2a, pp. 72–82, Nov. 2023, doi: 10.47927/jikb.v14i2a.525.

[14] M. M. Eyada, W. Saber, M. M. El Genidy, and F. Amer, "Performance Evaluation of IoT Data Management Using MongoDB Versus MySQL Databases in Different Cloud Environments," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110656–110668, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002164.