

# MONITORING IOT PADA PROSES ELEKTROLISIS AIR GARAM BERBASIS MODUL SURYA UNTUK OPTIMASI BATERAI

Rayhan Nugroho Danuwijoyo  
School of Electrical Engineering  
Telkom University, Indonesia  
Bandung, Indonesia  
rayhannd@student.telkomuniversity  
.ac.id

Ir. Ekki Kurniawan, S.T., M.T.  
School of Electrical Engineering  
Telkom University, Indonesia  
Bandung, Indonesia  
ekkekurniawan@telkomuniversity .ac.id

Dr.Eng. Faisal Budiman, S.T., M.Sc.  
School of Electrical Engineering  
Telkom University, Indonesia  
Bandung, Indonesia  
faisalbudiman@telkomuniversity .ac.id

**Abstrak** —Pertumbuhan kebutuhan energi yang pesat di sektor industri menjadi tantangan besar dalam menjaga pasokan energi yang berkelanjutan. Salah satu alternatif ramah lingkungan adalah elektrolisis air garam yang menggunakan energi dari modul surya. Namun, proses elektrolisis membutuhkan pasokan listrik yang stabil, dan dalam penelitian ini sumber energinya berasal dari modul surya. Ketergantungan pada modul surya memberikan tantangan berupa fluktuasi arus dan tegangan, sehingga dibutuhkan sistem pemantauan yang mampu mengontrol dan menjaga kestabilan parameter proses tersebut. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) dengan sensor INA219 untuk tegangan dan arus, sensor ACS712 untuk arus, serta sensor pH untuk memantau hasil larutan elektrolit. Sistem dikendalikan oleh Arduino Uno dan ESP32 yang mengirimkan data ke Blynk secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan tegangan rata-rata 13,55 V, arus 0,412 A, dan larutan pH dengan rata-rata 0,72 (asam) serta 10,66 (basa). Sistem terbukti mampu mengontrol proses elektrolisis secara efisien dan mendukung produksi elektrolit dari energi terbarukan.

**Kata kunci**— Elektrolisis, Modul Surya, IoT, Sensor Tegangan dan Arus, Arduino, Esp32

## I. PENDAHULUAN

Isi Kebutuhan energi terus meningkat, terutama di bidang industri, sehingga penting untuk menggunakan sumber daya energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan [1]. Ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi semakin tidak efisien karena cadangan yang terbatas dan penggunaan yang tinggi setiap hari. Salah satu solusi alternatif yang menjanjikan adalah memanfaatkan air garam dalam proses elektrolisis. Dalam larutan air garam, ion seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dapat diubah melalui reaksi elektrokimia menjadi komponen aktif dalam larutan elektrolit [2]. Untuk menjalankan proses tersebut secara ramah lingkungan, energi listrik berasal dari modul surya. Namun, karena modul surya sangat tergantung pada cuaca, tegangan dan arus yang dihasilkan cenderung tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan untuk memastikan proses elektrolisis tetap stabil [3].

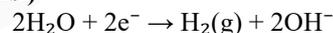
Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau energi dan parameter listrik [4][5]. Meski demikian, sebagian besar sistem hanya memantau parameter tunggal seperti arus dan tegangan, tanpa integrasi lengkap dengan parameter kimia seperti pH yang sangat penting dalam proses elektrolisis. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan menerapkan sistem pemantauan berbasis IoT yang dapat mengukur dan menampilkan tegangan, arus, serta nilai pH secara real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32. Data yang dikumpulkan kemudian dikirimkan ke platform Blynk untuk dipantau dari jarak jauh. Dengan sistem ini, diharapkan proses elektrolisis dapat berjalan efisien dan stabil, serta mendukung pengembangan teknologi energi alternatif berbasis air garam dan tenaga surya secara berkelanjutan dan praktis.

## II. KAJIAN TEORI

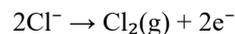
### A. Elektrolisis Air Garam

Elektrolisis merupakan proses pemisahan senyawa kimia menggunakan energi listrik. Dalam konteks penelitian ini, larutan  $\text{NaCl}$  digunakan sebagai elektrolit yang terurai menjadi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  saat dialiri arus listrik. Reaksi yang terjadi menghasilkan senyawa asam dan basa seperti  $\text{HCl}$  dan  $\text{NaOH}$  melalui proses redoks di elektroda. Reaksi utama pada elektroda adalah sebagai berikut:

#### Katoda (reduksi)



#### Anoda (oksidasi)



Dari reaksi tersebut, gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) akan terbentuk di katoda dan gas klorin ( $\text{Cl}_2$ ) di anoda. Ion  $\text{Na}^+$  dari larutan tetap berada dalam larutan dan bergabung dengan  $\text{OH}^-$  membentuk  $\text{NaOH}$  sebagai produk utama. Proses ini memungkinkan terbentuknya larutan asam dan basa secara terpisah, tergantung pada hasil elektrolisis. Efisiensi proses sangat bergantung pada kestabilan tegangan dan arus selama proses berlangsung, sehingga pemantauan parameter tersebut menjadi hal yang penting untuk menjaga kualitas hasil reaksi [2][6]. Proses elektrolisis umum digunakan dalam perolehan sumber energi salah satunya pada baterai [7]. Perhitungan perubahan potensial elektroda larutan elektrolit berdasarkan

konsentrasi ion yang terlibat dapat dilakukan menggunakan persamaan Nernst sebagai berikut [8]:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

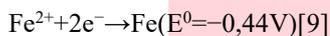
Keterangan :

$E$  = Potensial sel  
 $E^0$  = Potensial standar  
 $R$  = Konstanta gas  
 $T$  = Suhu absolut  
 $n$  = Jumlah mol elektron  
 $F$  = Konstanta Faraday  
 $Q$  = Hasil bagi reaksi

## B. Hasil Elektrokimia Baterai Besi dan Tembaga

Pemilihan elektroda sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses elektrolisis maupun sistem sel elektrokimia. Dalam penelitian ini digunakan besi (Fe) dan tembaga (Cu) sebagai elektroda. Keduanya memiliki sifat elektrokimia yang berbeda, sehingga memengaruhi nilai tegangan, arus, serta produk reaksi yang terbentuk [9], [10].

Besi merupakan logam yang cukup reaktif dengan potensial reduksi standar:



Sebagai anoda, besi mudah teroksidasi menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$ :

- Anoda (oksidasi):



Ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang terbentuk dapat bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  yang berasal dari katoda, sehingga membentuk endapan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang memiliki warna hijau. Selain itu, dalam proses tersebut juga terdapat pembentukan gelembung gas hidrogen di sekitar katoda. Tembaga (Cu) adalah logam dengan potensial reduksi standar yang lebih positif dibandingkan besi:



Karena lebih mulia, tembaga relatif sulit teroksidasi dan lebih stabil digunakan sebagai katoda. Reaksi reduksi yang umum terjadi di permukaan tembaga adalah:

- Katoda (reduksi ion  $\text{H}^+$  atau oksigen terlarut):

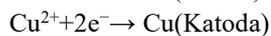
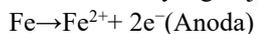


atau pada kondisi basa:



Dengan demikian, tembaga berperan penting dalam menerima elektron dan mempercepat reaksi reduksi [10]

Jika besi digunakan sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda, maka reaksi keseluruhan yang terjadi adalah:



- Potensial sel dapat dihitung:

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0 = (+0,34\text{V}) - (-0,44\text{V}) = +0,78\text{V}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa pasangan elektroda Fe-Cu mampu menghasilkan beda potensial yang cukup besar untuk aplikasi sel elektrokimia sederhana. Besi lebih reaktif sehingga mudah teroksidasi sebagai anoda, namun menghasilkan endapan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang dapat menurunkan konduktivitas larutan. Sementara itu, tembaga lebih stabil dan efektif digunakan sebagai katoda karena tahan terhadap korosi dan mendukung proses reduksi. Kombinasi Fe-Cu mampu menghasilkan beda potensial sekitar 0,78 V dengan larutan garam sebagai elektrolit, disertai pembentukan gas

hidrogen di katoda dan larutan bersifat basa akibat ion  $\text{OH}^-$  [9], [10].

## C. Modul Surya

Modul surya merupakan perangkat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Panel ini terdiri dari sel-sel surya yang akan menghasilkan arus dan tegangan ketika terkena cahaya matahari. Tegangan dan arus yang dihasilkan sangat bergantung pada intensitas cahaya dan kondisi lingkungan, sehingga output dari panel sering kali tidak stabil. Untuk mengoptimalkan kinerja, modul surya perlu dikonfigurasi dengan karakteristik arus dan tegangan yang serupa [11]. Oleh karena itu, diperlukan pengontrol atau sistem monitoring untuk menjaga kinerja sistem yang bergantung pada daya surya [3][12].

## D. Internet Of Things (IoT)

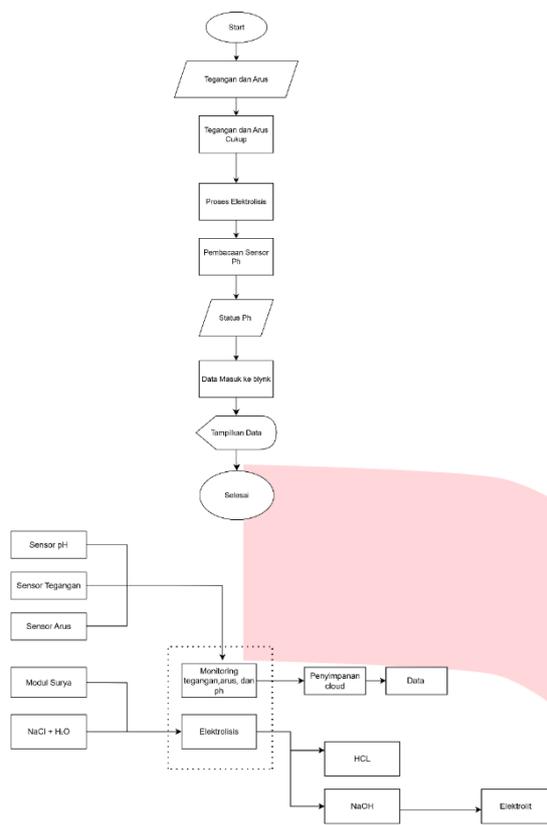
*Internet of Things (IoT)* adalah konsep penggabungan antara perangkat keras dan jaringan internet untuk memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh. Pada sistem ini, sensor dan mikrokontroler digunakan untuk mengukur dan mengirimkan data secara real-time ke platform cloud, sehingga pengguna dapat memantau status sistem secara langsung melalui aplikasi. Dalam penelitian ini, IoT digunakan untuk mentransmisikan data tegangan, arus, dan pH dari sistem elektrolisis ke aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring berbasis mobile. Aplikasi tersebut memudahkan pengguna untuk mengontrol parameter dari mana saja selama terhubung dengan internet [13]. Penggunaan IoT dapat meningkatkan efisiensi dan kestabilan dalam pengawasan proses berbasis energi terbarukan [4][5].

## E. Sensor dan Mikrokontroler

Sensor-sensor digunakan untuk mengukur parameter penting dalam sistem. Sensor INA219 berfungsi mengukur tegangan dan arus dari modul surya dengan presisi tinggi. Sensor ACS712 digunakan untuk mengukur arus yang mengalir ke proses elektrolisis. Kedua sensor tersebut memiliki prinsip kerja Hall Effect yaitu pengaruh tegangan yang diperoleh dari arus listrik medan magnet [14]. Sensor pH digunakan untuk memantau keasaman atau kebasaan larutan hasil elektrolisis yang berasal dari perbedaan potensial listrik [15]. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan untuk membaca data dari sensor arus dan pH, sedangkan ESP32 memiliki fitur konektivitas sehingga digunakan sebagai pusat kendali utama yang juga bertugas mengirimkan data secara langsung ke aplikasi Blynk melalui koneksi Wi-Fi [16]. Kombinasi perangkat ini memungkinkan sistem monitoring berjalan otomatis, efisien, dan dapat diakses dari jarak jauh [5][17].

## III. METODE

### A. Diagram blok



GAMBAR 1 A

Pada gambar 1A diagram ini menunjukkan alur kerja sistem pemantauan elektrolisis air garam yang menggunakan modul surya sebagai sumber energi utama. Energi listrik dari panel surya digunakan untuk memproses  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ , sehingga menghasilkan senyawa  $\text{HCl}$  dan  $\text{NaOH}$ . Kedua senyawa tersebut kemudian digunakan sebagai elektrolit. Sistem ini dilengkapi dengan tiga sensor utama, yaitu sensor pH, sensor arus (ACS712), dan sensor tegangan (INA219). Sensor-sensor tersebut terhubung ke Arduino Uno yang berfungsi untuk membaca data dan mengirimkannya ke ESP32 melalui komunikasi serial UART. ESP32 kemudian menghubungkan sistem ke internet dan mengirim data ke platform cloud Blynk.

#### B. Perangkat Lunak

GAMBAR 1 B

Pada gambar 1 B merupakan perangkat lunak, alur kerja sistem dimulai ketika panel surya menghasilkan tegangan dan arus yang kemudian dibaca oleh sensor INA219. Arduino Uno membaca nilai arus dari sensor ACS712 serta nilai pH dari sensor pH, lalu mengirimkan datanya ke ESP32 melalui komunikasi serial. ESP32 memeriksa kondisi sistem dan memastikan proses elektrolisis berjalan dengan baik. Jika tegangan yang dihasilkan cukup, proses elektrolisis dimulai dan data pH diperbarui. Semua data tersebut dikirim secara nirkabel ke aplikasi Blynk menggunakan koneksi Wi-Fi pada ESP32, lalu ditampilkan secara real-time dalam bentuk visual. Proses ini terus berlangsung selama sistem aktif, agar pemantauan bisa berjalan secara

#### C. Integrasi dan Pengujian Sistem

Seluruh komponen hardware dirakit sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Panel surya digunakan sebagai sumber tenaga utama, kemudian terhubung ke rangkaian sensor dan mikrokontroler. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya, sedangkan sensor ACS712 dan pH terpasang pada jalur elektrolisis untuk mengukur arus serta tingkat keasaman larutan. Uji coba dilakukan di bawah sinar matahari langsung agar kondisi yang diuji mencerminkan situasi nyata saat operasi berlangsung.

#### D. Pengambilan Data dan Validasi Sensor

Data diambil selama 60 menit dengan interval pembacaan setiap detik. Hasil pembacaan dari sensor dibandingkan dengan alat ukur standar untuk mengetahui tingkat akurasi. Parameter yang dikumpulkan berupa tegangan, arus, dan pH ditampilkan secara real-time di aplikasi Blynk. Validasi dilakukan untuk memastikan sistem dapat berjalan stabil dan akurat dalam waktu pengamatan.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Modul Surya

Pengujian energi surya berfokus pada evaluasi kinerja dari modul surya selama proses elektrolisis berlangsung dalam menghasilkan arus dan tegangan. Salah satu faktor utama yang dapat memengaruhi kinerja modul surya adalah intensitas cahaya yang diterima permukaan panel. Dalam penelitian ini, pengukuran intensitas cahaya dilakukan menggunakan aplikasi LuxMeter pada perangkat *smartphone* dengan hasil satuan lux yang menunjukkan banyak cahaya diterima per satuan luas.

TABEL 1 (A)

Alat	Intensitas cahaya
Modul Surya	8221 Lux
	8212 Lux
	8253 Lux
	8224 Lux
	8545 Lux

Dalam tabel 1(A) di atas, hasil pengukuran menunjukkan lima nilai intensitas cahaya, yaitu 8221 lux, 8212 lux, 8253 lux, 8224 lux, dan 8545 lux. Rata-rata intensitas cahaya dari hasil pengukuran tersebut adalah sekitar 8291 lux, yang menunjukkan bahwa kondisi pencahayaan selama pengujian berada dalam tingkat yang cukup tinggi dan stabil. Nilai tertinggi yang dicapai adalah 8545 lux, sedangkan nilai terendah adalah 8212 lux. Perbedaan antara kedua nilai tersebut cukup kecil, sehingga menunjukkan bahwa modul surya menerima pencahayaan secara merata dan baik.

#### B. Proses Elektrolisis

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati serta menganalisis perubahan parameter kimia dan listrik pada proses elektrolisis larutan air garam dengan sumber energi dari panel surya. Fokus utama pengujian diarahkan pada perubahan nilai pH larutan setelah elektrolisis serta besarnya arus listrik yang mengalir dalam sistem

TABEL 1 (B)

Tegangan Modul (V)	Tegangan Beban SCC (V)	Arus Elektrolisis
14,2	13,55	0,41
14,21	13,56	0,41
14,21	13,55	0,41
14,22	13,56	0,41
14,22	13,55	0,41
14,23	13,56	0,41
14,23	13,55	0,41
14,24	13,56	0,41

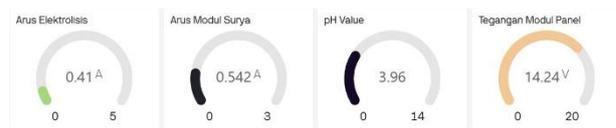
Tabel 1 (B) Pengukuran arus dilakukan menggunakan sensor ACS712 dan hasil pengamatan diperoleh nilai arus rata-rata sebesar 0,412 ampere. Sedangkan pengukuran tegangan pada modul surya dilakukan dengan menggunakan sensor INA219 dan tercatat nilai tegangan rata-rata sebesar 14,21 volt selama proses berlangsung. Namun, perlu diperhatikan bahwa tegangan yang digunakan secara langsung dalam proses elektrolisis bukan tegangan yang dihasilkan langsung oleh modul surya, melainkan tegangan keluaran dari perangkat Solar Charge Controller (SCC) yang berada pada sisi beban. SCC berperan penting dalam mengatur dan menstabilkan daya yang masuk ke sistem, sehingga tegangan yang diteruskan ke proses elektrolisis berada pada kisaran 13,5 hingga 13,6 volt, dengan arus yang mengalir berkisar antara 0,41 hingga 0,42 ampere.

TABEL 1 (C)

Larutan Basa Elektrolisis	Larutan Asam Elektrolisis
10,6	0,7
10,78	0,8
10,6	0,75
10,84	0,8
10,62	0,72
10,7	0,83
10,6	0,71
10,66	0,72
10,6	0,72
10,62	0,72

Tabel 1 (C) Hasil pengukuran sensor pH menunjukkan bahwa larutan asam memiliki nilai pH pada kisaran 0,7–0,81, sedangkan larutan basa berada pada rentang 10,6–10,84. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa proses elektrolisis berhasil mengubah struktur ionik larutan. Pada larutan asam terjadi peningkatan jumlah ion  $H^+$ , sementara pada larutan basa terbentuk lebih banyak ion  $OH^-$ . Perubahan pH ini membuktikan bahwa reaksi elektrokimia berlangsung dengan baik. Pengukuran pH dilakukan setelah proses elektrolisis selesai untuk kedua jenis larutan, yaitu asam dan basa.

C. Kinerja Sistem Monitoring Berbasis IoT



GAMBAR 1 A

Pada gambar 1A sistem berhasil mengirim dan menampilkan data sensor secara langsung melalui aplikasi Blynk. Parameter seperti tegangan, arus, dan pH ditampilkan dalam bentuk angka digital yang jelas dan mudah dilihat. Data dikirim setiap detik melalui ESP32 menggunakan koneksi Wi-Fi. Hasil uji menunjukkan sistem berjalan stabil dan cepat respons, serta mampu memantau proses elektrolisis dari jarak jauh. Dengan sistem ini, pengguna bisa mendapatkan informasi mengenai kondisi proses secara langsung dan terus-menerus.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuat dan menerapkan sistem pengawasan proses elektrolisis air garam yang menggunakan Internet of Things (IoT). Sumber energi utamanya berasal dari panel surya. Sistem ini menggabungkan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32, serta berbagai sensor seperti INA219, ACS712, dan pH untuk mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan tingkat keasaman larutan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca dan mengirim data secara langsung ke aplikasi Blynk dengan jarak waktu satu detik. Nilai pH yang tercatat menunjukkan bahwa proses elektrolisis berhasil memisahkan larutan menjadi bagian asam dan basa. Tampilan data di aplikasi Blynk memudahkan pengguna untuk memantau sistem dari jarak jauh. Secara keseluruhan, sistem ini berjalan stabil, cepat merespons, dan mampu mendukung pengawasan yang efisien terhadap proses elektrolisis dengan menggunakan energi yang ramah lingkungan.

## REFERENSI

- [1] S. Fariya and S. Rejeki, "Seacell ( Sea Water Electrochemical Cell ) Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Menjadi Cadangan Sumber Energi Listrik Terbarukan Sebagai Penerangan Pada Sampan," 2015.
- [2] M. L. Ramadhan *et al.*, "Elektrolisis," vol. 2, no. 4, pp. 105–112, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.62383/polygon.v2i4.129>
- [3] N. Amna, I. D. Sara, and T. Tarmizi, "Performa Konfigurasi Modul Surya Seri dan Seri Paralel pada Kondisi Mismatch Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) terhadap Daya Output," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 4, pp. 204–211, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i4.22467.
- [4] Y. Efendi, "Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 21–27, 2018, doi: 10.35329/jiik.v4i2.41.
- [5] M. Artiyasa, A. Nita Rostini, Edwinanto, and Anggy Pradifita Junfithrana, "Aplikasi Smart Home Node Mcu Iot Untuk Blynk," *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi:

- 10.52005/rekayasa.v7i1.59.
- [6] Y. Wahyono, H. Sutanto, and E. Hidayanto, "Produksi gas hidrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH," *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 4, pp. 353–359, 2017.
- [7] D. Jurusan, F. Fakultas, M. Universitas, and P. Palembang, "Tegangan Dan Kuat Arus Listrik Dari Sifat Asam," vol. 12, no. 2, pp. 28–42, 2015.
- [8] F. Colmati, B. N. Ciribelli, and E. C. Souza, "Nernst equation applied to electrochemical systems and centenary of his Nobel Prize in chemistry," *Int. J. Innov. Educ. Res.*, vol. 8, no. 11, pp. 670–683, Nov. 2020, doi: 10.31686/ijer.vol8.iss11.2803.
- [9] P. Atkins and J. De Paula, *Atkins' Physical Chemistry*, 10th ed. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- [10] A. J. Bard and L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. New York: Wiley, 2001.
- [11] N. Amna, I. D. Sara, and T. Tarmizi, "Performa Konfigurasi Modul Surya Seri dan Seri Paralel pada Kondisi Mismatch Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) terhadap Daya Output," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 4, pp. 204–211, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i4.22467.
- [12] S. I. Putri and S. Sudarti, "Analisis Intensitas Cahaya di Dalam Ruangan dengan Menggunakan Aplikasi Smart Luxmeter Berbasis Android," *J. Mater. dan Pembelajaran Fis.*, vol. 12, no. 2, p. 51, 2022, doi: 10.20961/jmpf.v12i2.51474.
- [13] M. Artiyasa, A. Nita Rostini, Edwinanto, and Anggy Pradifita Junfithrana, "Aplikasi Smart Home Node Mcu Iot Untuk Blynk," *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.52005/rekayasa.v7i1.59.
- [14] D. A. N. K. Suhermanto and W. Aribowo, "Rancang Bangun Kendali Adaptif Motor DC Berdasar Suhu Menggunakan Wemos D1 R1 Dan LoRa," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 74–83, 2023, doi: 10.26740/jte.v12n2.p74-83.
- [15] E. Safrianti, Feranita, Nurhalim, and Wahyu Dwi Reza, "Design of pH Measuring Equipment for Liquid Waste from Coal Mining Using Arduino Uno," *Int. J. Electr. Energy Power Syst. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 61–66, 2022, doi: 10.31258/ijeepse.5.3.61-66.
- [16] V. Barral Vales, O. C. Fernandez, T. Dominguez-Bolano, C. J. Escudero, and J. A. Garcia-Naya, "Fine Time Measurement for the Internet of Things: A Practical Approach Using ESP32," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 19, pp. 18305–18318, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3158701.
- [17] T. O. Priyono and G. Prasetyo, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Berbasis IoT Pada Panel Surya 20 WP Menggunakan Arduino Mega 2560," 2022.