

SISTEM MONITORING TEMPERATUR PLAT ELEKTROLISIS AIR PADA REAKTOR HIDROGEN BERBASIS MIKROKONTROLER

Wullan Dwi Sany Sanjaya¹, Mulkan Iskandar Nasution², Ratni Sirait³

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan

e-mail: wullandwisansanjaya@gmail.com

Abstract: *Hydrogen is one of the potential alternative energy sources that can be obtained through the water electrolysis process. This process is strongly influenced by temperature and voltage conditions; therefore, a reliable monitoring system is required. In this study, a monitoring system was designed based on the ESP32 microcontroller using a type-K thermocouple sensor for temperature measurement, a voltage divider circuit for voltage monitoring, and an MQ-8 sensor for detecting hydrogen concentration. The system is equipped with an automatic relay as a temperature control unit, where the relay disconnects the current when the temperature exceeds 70 °C and reconnects it when the temperature returns to a safe range. Experimental results showed that the electrolyte temperature remained in the range of 30–32 °C, the voltage increased according to the test intervals, and the hydrogen concentration reached an average of 227.39 ppm. Calibration of the type-K thermocouple sensor yielded an average deviation of ± 0.61 °C, indicating sufficient accuracy for monitoring purposes. Therefore, the developed monitoring system is capable of controlling temperature effectively and providing valid data to analyze the relationship between process parameters and hydrogen production in water electrolysis.*

Keywords: *water electrolysis, hydrogen production, ESP32, type-K thermocouple, Monitoring System, automatic relay.*

Abstrak: Hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperoleh melalui proses elektrolisis air. Proses ini dipengaruhi oleh kondisi suhu dan tegangan sehingga diperlukan sistem monitoring yang andal. Pada penelitian ini dirancang sistem monitoring berbasis ESP32 dengan sensor termokopel tipe-K untuk pengukuran suhu, rangkaian pembagi tegangan untuk pengukuran tegangan, serta sensor MQ-8 untuk mendeteksi konsentrasi gas hidrogen. Sistem ini dilengkapi *relay* otomatis yang berfungsi sebagai pengendali suhu, di mana *relay* akan memutus arus ketika suhu melebihi 70 °C dan menyambungkan kembali ketika suhu kembali berada pada kondisi aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu elektrolit berada pada kisaran 30–32 °C, tegangan meningkat sesuai interval pengujian, dan konsentrasi hidrogen yang dihasilkan mencapai rata-rata 227,39 ppm. Kalibrasi sensor termokopel menghasilkan deviasi rata-rata $\pm 0,61$ °C sehingga cukup akurat untuk digunakan. Dengan demikian, sistem monitoring ini mampu bekerja dengan baik dalam mengendalikan suhu serta memberikan data yang valid untuk menganalisis hubungan antara parameter proses dan produksi hidrogen pada elektrolisis air.

Kata kunci: hidrogen, elektrolisis air, ESP32, sensor termokopel, sistem *monitoring*, *relay* otomatis.

PENDAHULUAN

Hidrogen telah menjadi elemen kunci dalam upaya transisi energi global menuju sumber daya yang lebih bersih

dan berkelanjutan. Sebagai bahan bakar alternatif, hidrogen memiliki potensi besar dalam mengurangi emisi karbon, terutama ketika diproduksi menggunakan energi terbarukan (Wirajaya et al., 2024).

Salah satu metode utama produksi hidrogen hijau adalah elektrolisis air, di mana air (H_2O) diuraikan menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan energi listrik (Hasan & Widayat, 2022; Safarudin & Syahrul, 2023).

Namun, salah satu tantangan utama dalam sistem elektrolisis air adalah pengelolaan dan pemantauan temperatur gas hidrogen yang dihasilkan. Temperatur gas hidrogen yang terlalu tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk penurunan efisiensi elektrolisis, degradasi material elektrolit, serta risiko kebocoran atau ledakan (Cordova Ar-rahman et al., 2025). Hidrogen memiliki sifat sangat mudah terbakar dan dapat dengan cepat menyebar di udara, sehingga pemantauan yang akurat menjadi krusial untuk memastikan keselamatan sistem (Putra, 2024).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pemantauan temperatur gas hidrogen adalah dengan memanfaatkan sensor termokopel berbasis mikrokontroler. Sensor termokopel merupakan jenis sensor suhu yang banyak digunakan dalam aplikasi industri karena kehandalannya, kecepatan responnya yang tinggi, serta kemampuannya dalam mengukur temperatur pada rentang yang luas (Bagus et al., 2022). Mikrokontroler berperan sebagai unit pemrosesan data, memungkinkan sistem untuk mengukur, mencatat, dan menganalisis perubahan temperatur secara real-time. Dengan kombinasi sensor termokopel dan mikrokontroler, sistem pemantauan dapat diintegrasikan dengan algoritma kontrol yang dapat memberikan peringatan dini jika terjadi kenaikan suhu yang tidak normal (Desmira & Martias, 2024).

Dalam konteks keamanan, pemantauan temperatur hidrogen tidak hanya penting dalam sistem elektrolisis, tetapi juga dalam sistem penyimpanan dan transportasi hidrogen. Menurut penelitian Deng, kebocoran hidrogen sering terjadi pada sambungan pipa, tangki penyimpanan, serta katup kontrol,

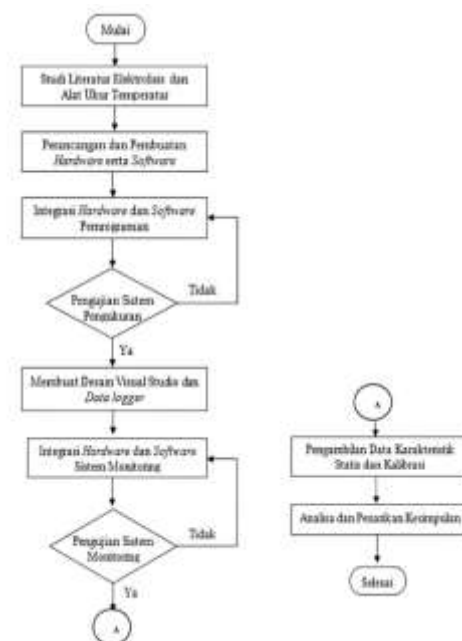
yang dapat dipicu oleh fluktuasi suhu dan tekanan. Dengan adanya sistem pemantauan yang akurat, risiko kegagalan sistem dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional plant elektrolisis.

Selain aspek keselamatan, pemantauan temperatur juga berdampak pada efisiensi produksi hidrogen. Temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi pada elektrolisis, karena meningkatkan laju penguapan air serta mempercepat degradasi elektroda dan membran. Oleh karena itu, optimalisasi sistem pemantauan temperatur menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi dan umur panjang sistem elektrolisis.

METODE

Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

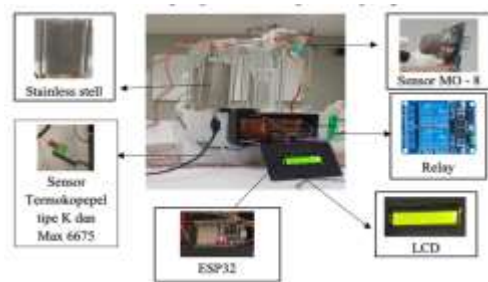
Adapun diagram alir (*Flow Chart*) penelitian ini dapat di lihat pada gambar 1.:



Gambar 1 Flowchart Perancangan Pembuatan Tugas Akhir

Alat Penelitian

Desain Penelitian alat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Alat Penelitian

Gambar 2. menunjukkan rangkaian sistem *monitoring* proses elektrolisis air yang menggunakan elektroda stainless steel yang terhubung ke power supply DC melalui relay. Kutub positif (anoda) dihubungkan ke elektroda anoda, sedangkan kutub negatif (katoda) dihubungkan ke elektroda katoda. Ketika arus listrik dialirkan, air (H_2O) mengalami reaksi elektrolisis yang menghasilkan gas oksigen (O_2) di anoda dan gas hidrogen (H_2) di katoda, kemudian gas keluar melalui saluran keluaran.

Sistem dilengkapi dengan sensor termokopel tipe-K yang dipadukan dengan modul MAX6675 untuk mengukur suhu larutan elektrolit. Hasil pengukuran dibandingkan dengan termometer digital sebagai acuan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Konsentrasi gas hidrogen diukur menggunakan sensor MQ-8 yang dipasang pada jalur keluaran gas, sehingga sensor hanya mendeteksi gas hidrogen hasil elektrolisis. Sementara itu, tegangan diukur menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang terhubung ke pin ADC ESP32, kemudian hasilnya dibandingkan dengan pembacaan multimeter digital sebagai alat ukur standar.

Seluruh data dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan pada LCD secara real-time. Selain berfungsi sebagai pusat pemrosesan data, ESP32 juga mengendalikan relay sebagai sistem pengaman. Relay akan memutus arus listrik secara otomatis ketika suhu larutan mencapai $70^{\circ}C$ dan menghubungkannya kembali saat suhu kembali pada batas aman, sehingga proses elektrolisis dapat

berlangsung dengan lebih aman dan stabil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan

Pengamatan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara suhu, tegangan, dan waktu terhadap produksi gas hidrogen yang diukur dalam satuan parts per million (ppm). Data diambil setiap 5 menit selama 40 menit proses elektrolisis berlangsung. Parameter yang diamati adalah suhu yang terbaca dari sensor termokopel tipe-K, tegangan pada elektroda, dan konsentrasi gas hidrogen dari sensor gas.

Tabel 1 Data Pengukuran Waktu, Suhu, Tegangan, dan Konsentrasi H_2

Waktu (menit)	Tegangan (V)	Suhu ($^{\circ}C$)	Konsentrasi H_2 (ppm)
0	23	30.3	112.81
5	24	30.0	132.36
10	25	31.0	166.57
15	26	30.0	191.01
20	27	30.0	205.67
25	28	31.0	220.33
30	29	31.0	274.10
35	30	31.0	347.41
40	31	31.8	396.29

Pada awal pengujian, suhu larutan sebesar $30,3^{\circ}C$ dan meningkat secara bertahap hingga $31,8^{\circ}C$ pada menit ke-40 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2. Kenaikan suhu ini masih tergolong kecil sehingga menunjukkan bahwa proses elektrolisis berlangsung dalam kondisi yang stabil.

Selama pengujian, tegangan dinaikkan secara bertahap dari 23 V menjadi 31 V. Seiring dengan peningkatan tegangan, konsentrasi gas hidrogen juga mengalami peningkatan dari 112,81 ppm menjadi 396,29 ppm pada menit ke-40. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan, semakin tinggi konsentrasi gas hidrogen yang dihasilkan. Sementara itu, perubahan suhu relatif kecil sehingga

pengaruhnya terhadap peningkatan produksi hidrogen tidak terlalu signifikan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring bekerja dengan baik dan mampu memantau proses elektrolisis secara stabil.

Berdasarkan data pada Tabel 1., proses elektrolisis terjadi ketika molekul air (H_2O) terurai menjadi ion H^+ dan OH^- . Ion H^+ bergerak menuju katoda dan mengalami reaksi reduksi sehingga menghasilkan gas hidrogen (H_2), sedangkan ion OH^- bergerak menuju anoda dan mengalami reaksi oksidasi sehingga menghasilkan gas oksigen (O_2).



Gambar 3 Proses elektrolisis air

Berdasarkan hasil penelitian, suhu larutan selama proses elektrolisis berada pada kisaran 30–31,8°C. Suhu tersebut relatif stabil sehingga mampu mendukung proses elektrolisis dengan baik. Kenaikan suhu yang terjadi dipengaruhi oleh panas yang dihasilkan selama reaksi berlangsung dan masih berada dalam batas aman. Fluktuasi suhu yang kecil juga dipengaruhi oleh terbentuknya gelembung gas pada permukaan elektroda yang sesaat menghambat aliran listrik, kemudian kembali normal setelah gelembung terlepas.

Konsentrasi gas hidrogen yang diukur menggunakan sensor MQ-8 memiliki nilai rata-rata sebesar 227,39 ppm. Hasil ini sesuai dengan hukum Faraday yang menyatakan bahwa semakin lama arus listrik dialirkan, semakin banyak gas hidrogen yang dihasilkan. Meskipun terjadi fluktuasi selama

pengujian, tren keseluruhan menunjukkan peningkatan konsentrasi hidrogen. Fluktuasi tersebut disebabkan oleh *bubble coverage effect*, yaitu gelembung gas yang menutupi sebagian permukaan elektroda sehingga laju reaksi sesaat menurun, kemudian kembali meningkat setelah gelembung terlepas.

Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan dialirkan terlebih dahulu ke dalam tabung air murni (*bubbler*) sebelum menuju sensor MQ-8. Tabung ini berfungsi untuk menyaring uap air dan percikan elektrolit sehingga gas hidrogen yang dideteksi menjadi lebih bersih dan hasil pengukuran lebih akurat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem elektrolisis mampu menghasilkan gas hidrogen dengan baik pada suhu 30–31,8°C. Produksi gas hidrogen meningkat seiring lamanya proses elektrolisis, sedangkan variasi data yang terjadi lebih banyak dipengaruhi oleh pembentukan gelembung gas pada elektroda dan karakteristik sensor yang digunakan.

Penggunaan Relay Otomatis Berdasarkan Rentang Suhu

Selain komponen sensor dan sistem monitoring, rangkaian yang digunakan dalam penelitian ini juga dilengkapi dengan modul relay sebagai perangkat pengendali otomatis. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh mikrokontroler (ESP32) berdasarkan hasil pembacaan suhu dari sensor termokopel tipe-K. Dalam sistem ini, relay dirancang untuk beroperasi secara otomatis dalam rentang suhu tertentu, yaitu hingga 70°C.

Pada sistem ini, relay berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh mikrokontroler berdasarkan data dari sensor suhu untuk mengatur proses hidup (ON) dan mati (OFF) peralatan secara mandiri. Prinsip kerjanya adalah ketika sensor mendeteksi suhu telah mencapai atau melebihi ambang batas maksimum yang ditentukan, yaitu 70 °C, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal ke relay untuk

memutus aliran listrik (OFF) menuju beban. Pemutusan ini dilakukan karena pada suhu di atas 70 °C proses elektrolisis cenderung menghasilkan gas hidrogen yang bercampur dengan uap air akibat meningkatnya laju penguapan larutan elektrolit. Campuran gas dan uap air ini dapat menurunkan kemurnian hidrogen, memengaruhi pembacaan sensor gas, serta berpotensi menimbulkan risiko keamanan. Setelah suhu turun kembali dan berada pada rentang aman relay akan diaktifkan kembali (ON) sehingga arus listrik kembali mengalir ke beban dan proses elektrolisis dapat dilanjutkan. Mekanisme on-off otomatis ini tidak hanya melindungi komponen dari kerusakan akibat suhu berlebih, tetapi juga menjaga kualitas gas hidrogen yang dihasilkan serta mengurangi risiko keselamatan. Dengan demikian, sistem dapat beroperasi secara lebih stabil, efisien, dan aman tanpa memerlukan pengawasan manual terus-menerus.

Sensor suhu termokopel tipe – K akan terus memantau kondisi suhu secara real-time. Ketika suhu naik dan mencapai nilai 70 °C, sinyal dari sensor dikirim ke rangkaian kontrol mikrokontroler atau modul pengendali relay. Rangkaian ini kemudian memutuskan sumber daya melalui relay sehingga alat berhenti beroperasi. Pemutusan ini dapat dilakukan secara otomatis dan instan untuk memastikan suhu tidak naik lebih tinggi. Setelah suhu turun ke level aman, sistem dapat mengizinkan relay kembali aktif sehingga alat dapat menyala lagi.

Penerapan fitur ini memberikan perlindungan ganda. Pertama, menjaga alat tetap berada di dalam batas suhu operasional yang aman. Kedua, mencegah kerusakan permanen pada komponen internal akibat paparan suhu tinggi dalam waktu lama. Ketiga, meningkatkan umur pakai alat karena mengurangi risiko *thermal stress*. Dalam sistem yang digunakan di lingkungan panas atau pada proses yang menghasilkan panas internal signifikan, pemutusan otomatis di suhu 70 °C menjadi langkah krusial dalam desain keselamatan.

Kelebihan Alat Penelitian

Alat yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki beberapa kelebihan yang mendukung keberhasilan proses monitoring dan produksi gas hidrogen melalui elektrolisis air.

Pertama, sistem ini menggunakan sensor termokopel tipe-K yang terbukti memiliki akurasi tinggi dengan nilai rata-rata deviasi sebesar 0,6°C dan tingkat akurasi sebesar 99,19%. Nilai error yang sangat kecil, yaitu 0,81%, menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan data suhu yang presisi dan dapat diandalkan.

Kedua, sistem monitoring memiliki kestabilan tinggi terhadap fluktuasi tegangan. Meskipun tegangan selama pengujian bervariasi antara 23 hingga 31 volt, pembacaan suhu tetap berada dalam kisaran yang stabil, yaitu sekitar 30°C hingga 31,8°C. Hal ini menunjukkan bahwa sensor tidak mudah terpengaruh oleh perubahan daya input, menjadikannya cocok untuk pemantauan kondisi yang dinamis.

Ketiga, alat ini dilengkapi dengan fitur otomatisasi berupa relay yang mampu menghidupkan dan mematikan sistem berdasarkan rentang suhu tertentu, yaitu 25°C hingga 70°C. Fitur ini meningkatkan efisiensi dan keselamatan karena sistem dapat beroperasi secara mandiri tanpa campur tangan manual.

Keempat, proses pengambilan data dilakukan secara berkala dan otomatis setiap lima menit, sehingga data yang dikumpulkan bersifat real-time dan representatif terhadap kondisi sistem.

Kelima, hubungan antara tegangan dan konsentrasi gas hidrogen menunjukkan korelasi positif yang jelas, di mana peningkatan tegangan menghasilkan peningkatan produksi gas hidrogen, membuktikan bahwa sistem bekerja secara efektif dalam meningkatkan efisiensi elektrolisis.

Secara keseluruhan, alat penelitian ini memiliki kombinasi keunggulan dalam aspek akurasi, stabilitas, keamanan, otomatisasi, serta efektivitas produksi gas hidrogen. Kelebihan-kelebihan ini

menjadikan alat yang dikembangkan layak digunakan dalam pengujian dan pengembangan sistem produksi hidrogen berbasis elektrolisis air pada skala laboratorium maupun untuk aplikasi yang lebih luas.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring suhu, tegangan, dan konsentrasi gas hidrogen pada proses elektrolisis air berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan sensor termokopel tipe-K, mikrokontroler ESP32, LCD, dan modul relay otomatis dalam satu sistem yang mampu bekerja secara mandiri. Sensor termokopel tipe-K menunjukkan kinerja yang baik dengan tingkat akurasi tinggi, ditunjukkan oleh deviasi rata-rata sebesar 0,6°C dan nilai error sebesar 0,81% dibandingkan alat ukur standar, serta mampu memberikan pembacaan suhu yang stabil meskipun terjadi perubahan tegangan pada sistem. Integrasi dengan ESP32 memungkinkan proses pemantauan suhu, tegangan, dan konsentrasi gas hidrogen secara real-time, sementara data hasil pengukuran ditampilkan secara langsung pada LCD sehingga mudah dipantau oleh pengguna. Selain itu, sistem mampu melakukan pengendalian otomatis melalui relay yang memutus arus listrik ketika suhu mencapai 70°C dan mengaktifkannya kembali saat suhu kembali pada batas aman, sehingga proses elektrolisis dapat berlangsung dengan lebih aman, stabil, dan efektif serta membantu menjaga kualitas gas hidrogen yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Bagus, M., Huda, R., & Kurniawan, W. D. (2022). Analisa Sistem

Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18b20 Berbasis Mikrokontroler Arduino. *JRM*, 07(02), 18–23.

Cordova Ar-rahman, S., Eka Sabila, N., Sari Putri, Q., & Puteri Izzaty, M. (2025). Analisis Teknologi Pada Kapal Ramah Lingkungan : Mendorong Transportasi Laut Berkelanjutan Di Era Modern. *Jurnal Pendidikan Perikanan Kelautan*, 5(1), 54–65.

Desmira, & Martias. (2024). Optimisasi Pengukuran dan Pengendalian Suhu pada Furnace Industri Menggunakan Termokopel Tipe K dan Sistem PID. *INSANtek – Jurnal Inovasi Dan Sains Teknik Elektro*, 5(2), 65–70. http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/insan_tek65

Hasan, M. S., & Widayat, W. (2022). Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 38–48. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13374>

Putra, C. S. (2024). Sistem Kontrol Dan Monitoring Hidrogen - Oksigen (HHO) Generator Berbasis Internet Of Things (IoT). *Jurnal Ristara (Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi Dan Terapan)*, 2(2), 46–52.

Safarudin, L., & Syahrul. (2023). Eksplorasi Potensi Energi Hidrogen di Sektor Industri. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL PEMANFAATAN SAINS DAN TEKNOLOGI INFORMASI 2023*, 1(1), 567–580.

Wirajaya, A., Sasongko, N. A., Supriyadi, I., & Purwantoro, S. A. (2024). Analisis Peran Gas Bumi Terhadap Transisi Energi Di Indonesia. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 11(4), 1646–1658. <https://doi.org/10.31604/jips.v11i4.2>