

Pengaruh Cahaya Merah Terhadap Produksi Hidrogen Pada Proses Elektrolisis

Mardi Santoso^{*1}, Purnami², Nurkholis Hamidi³

¹⁻³Universitas Brawijaya, Indonesia

E-mail: mardisantoso88@student.ub.ac.id¹, purnami.ftub@ub.ac.id², hamidy@ub.ac.id³

Abstrak. Penggunaan sumber energi terbarukan, seperti hidrogen, menjadi semakin penting dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu metode produksi hidrogen adalah elektrolisis air, yang efisiensinya dapat ditingkatkan dengan paparan cahaya eksternal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh cahaya merah terhadap produksi hidrogen dalam elektrolisis air menggunakan elektrolit KOH 30%. Eksperimen dilakukan pada tegangan 9 V dan arus 1,5 A selama 20 menit, dengan volume larutan 100 mL. Cahaya merah dengan intensitas 700 lumen dipaparkan dari jarak 50 mm selama proses berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan cahaya merah berkontribusi pada peningkatan produksi hidrogen, yang kemungkinan disebabkan oleh perubahan karakteristik reaksi elektrokimia di permukaan elektroda. Studi ini menunjukkan potensi penggunaan cahaya dalam meningkatkan efisiensi elektrolisis air sebagai metode produksi hidrogen yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: Produksi hidrogen; elektrolisis air; cahaya merah; elektrokimia.

Abstract. The use of renewable energy sources, such as hydrogen, is becoming increasingly important in reducing dependence on fossil fuels. One method of hydrogen production is water electrolysis, whose efficiency can be enhanced by exposure to external light. This study aims to examine the effect of red light on hydrogen production in water electrolysis using a 30% KOH electrolyte. The experiment was conducted at a voltage of 9 V and a current of 1.5 A for 20 minutes, with a solution volume of 100 mL. Red light with an intensity of 700 lumens was applied from a distance of 50 mm throughout the process. The results showed that red light exposure contributed to an increase in hydrogen production, likely due to changes in the electrochemical reaction characteristics at the electrode surface. This study highlights the potential of light utilization in improving the efficiency of water electrolysis as a more sustainable hydrogen production method.

Keywords: Hydrogen production; water electrolysis; red light; electrochemistry.

1. Pendahuluan

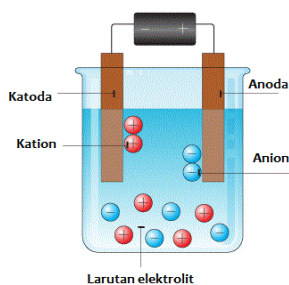
Hidrogen merupakan elemen yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi bersih dan berkelanjutan. Sebagai bahan bakar, hidrogen menghasilkan energi tanpa emisi karbon, sehingga dianggap sebagai solusi potensial untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca [1]. Selain itu, hidrogen memiliki densitas energi yang tinggi, menjadikannya kandidat ideal untuk berbagai aplikasi energi, termasuk transportasi dan pembangkit listrik [2].

Salah satu metode utama untuk produksi hidrogen adalah elektrolisis air, di mana air diurai menjadi hidrogen dan oksigen melalui penerapan arus listrik. Proses ini menawarkan keuntungan berupa produksi hidrogen dengan kemurnian tinggi dan potensi integrasi dengan sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin [3]. Elektrolisis juga memungkinkan produksi hidrogen secara terdesentralisasi, yang dapat mengurangi biaya transportasi dan distribusi [4].

Elektrolisis adalah proses elektrokimia yang melibatkan pemisahan molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) melalui penerapan arus listrik. Dalam sel elektrolisis, dua elektroda—anoda dan katoda—dicelupkan ke dalam larutan elektrolit. Ketika arus listrik diterapkan, reaksi oksidasi terjadi di anoda, menghasilkan oksigen, sementara reaksi reduksi terjadi di katoda, menghasilkan hidrogen. Efisiensi proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis elektrolit, material elektroda, suhu, dan kondisi operasi lainnya [5]. Reaksi keseluruhan proses elektrolisis dapat dituliskan sebagai berikut:



Proses ini menawarkan metode produksi hidrogen yang bersih, terutama jika listrik yang digunakan berasal dari sumber energi terbarukan seperti angin atau matahari. Hidrogen yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan baku industri, berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil.



Gambar 1. Skema Proses Elektrolisis

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi elektrolisis. Penelitian mengenai pengembangan sel elektrolisis dengan kapilaritas tinggi mampu meningkatkan performa produksi hidrogen terbarukan. Studi melaporkan bahwa penggunaan sel elektrolisis dengan kapilaritas tinggi dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 98%, menjadikannya lebih kompetitif secara biaya dibandingkan teknologi konvensional. [6]

Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan gelombang suara selama proses elektrolisis dapat meningkatkan efisiensi produksi hidrogen hijau. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi tetapi juga mengurangi biaya material yang terkait dengan produksi hidrogen hijau. [7]

Penggunaan air laut sebagai sumber untuk elektrolisis tanpa memerlukan proses desalinasi sebelumnya juga telah dieksplorasi. Pendekatan ini dapat memungkinkan produksi hidrogen yang lebih fleksibel dan hemat biaya, terutama di wilayah dengan akses terbatas ke air tawar. [8] Pengaruh cahaya eksternal terhadap proses elektrolisis, khususnya dalam produksi hidrogen, merupakan area penelitian yang menarik. Beberapa studi telah mengeksplorasi bagaimana eksposur cahaya, terutama cahaya matahari, dapat mempengaruhi efisiensi produksi hidrogen selama elektrolisis air.

Penggunaan cahaya dalam proses elektrolisis telah menjadi subjek penelitian untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen. Cahaya, terutama pada panjang gelombang tertentu, dapat mempengaruhi proses elektrokimia melalui mekanisme seperti fotostimulasi elektroda atau pemanasan lokal [9].

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi pengaruh cahaya terhadap proses elektrolisis. Misalnya, Chen et al. (2018) menemukan bahwa pencahayaan dapat meningkatkan aktivitas katalitik elektroda, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi elektrolisis.

Bidin et al. (2017) menemukan bahwa penggunaan sinar matahari terkolimasi dapat meningkatkan produksi hidrogen hingga 53% dibandingkan dengan kondisi tanpa pencahayaan. Peningkatan ini dikaitkan dengan penguatan medan listrik dalam proses elektrolisis akibat polarizabilitas dan sifat tak terbatas dari sinar matahari, yang memperkaya pemisahan air.[10]

Lebih lanjut, sistem elektrolisis air dua sel dengan elektroda mediator redoks $\text{CuO-Cu(OH)}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam produksi hidrogen saat terkena iradiasi cahaya matahari. Reaksi redoks dari pasangan mediator ini menghasilkan peningkatan laju produksi H_2 sebesar 51% dibandingkan dengan kondisi gelap. Efek cahaya pada reaksi redoks ini diselidiki menggunakan spektroskopi serapan sinar-X in situ, menunjukkan bahwa pembawa muatan yang dihasilkan oleh cahaya mendorong oksidasi dan reduksi elektroda mediator, yang mengarah pada peningkatan kapasitansi spesifik dibandingkan dengan kondisi tanpa cahaya. [11]

Penelitian oleh Maulana (2021) mengeksplorasi pengaruh warna cahaya berdaya rendah terhadap produksi hidrogen menggunakan fotokatalis nanopartikel zeolit. Hasilnya menunjukkan bahwa panjang gelombang cahaya berbanding terbalik dengan energi foton yang dihasilkan; semakin pendek panjang gelombang, semakin tinggi energi foton. Energi foton yang lebih tinggi dapat mengaktifkan celah pita (bandgap) yang lebih lebar, memungkinkan lebih banyak elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, yang pada gilirannya meningkatkan produksi hidrogen.[12]

Meskipun berbagai panjang gelombang cahaya telah dieksplorasi dalam penelitian sebelumnya, pengaruh spesifik cahaya merah terhadap efisiensi elektrolisis air masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Memahami bagaimana cahaya merah mempengaruhi proses elektrokimia dapat membuka jalan bagi optimasi produksi hidrogen yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. Metode penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pencahayaan eksternal menggunakan LED merah terhadap efisiensi produksi hidrogen dalam proses elektrolisis air. Proses elektrolisis digunakan untuk memecah molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan bantuan arus listrik. Pencahayaan eksternal, dalam bentuk LED merah, diharapkan dapat mempengaruhi laju reaksi elektrolisis dan efisiensi produksi hidrogen. Oleh karena itu, penelitian ini menginvestigasi pengaruh LED merah dengan intensitas 700 lumens terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan selama elektrolisis dengan menggunakan elektrolisator sederhana yang dioperasikan dengan baterai 9V sebagai sumber daya listrik

2.1. Alat dan Bahan Yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. **Elektrolisator** sebagai reaktor elektrokimia untuk memisahkan air menjadi hidrogen dan oksigen. Elektrolisator ini memiliki dua elektroda yang terhubung dengan sumber daya listrik.
2. **Baterai 9V** sebagai sumber daya yang menyediakan tegangan dan arus yang dibutuhkan untuk memulai reaksi elektrolisis.
3. **Larutan KOH 30%**, digunakan untuk meningkatkan konduktivitas listrik sehingga mempermudah aliran arus dan mempercepat proses elektrolisis.
4. **LED warna merah (700 lumens)** sebagai sumber pencahayaan eksternal selama elektrolisis.
5. **Termometer digital** untuk mengukur suhu awal dan suhu akhir larutan elektrolit.
6. **pH meter digital** untuk mengukur perubahan pH sebelum dan sesudah proses elektrolisis.

2.2. Prosedur Penelitian

Proses penelitian dimulai dengan tahap persiapan larutan elektrolit. KOH sebanyak 1 ml dilarutkan dalam 100 ml air dan larutan ini kemudian dimasukkan ke dalam elektrolisator. Elektrolisator dirakit dengan menempatkan dua elektroda yang terhubung ke baterai 9V untuk menyediakan arus listrik

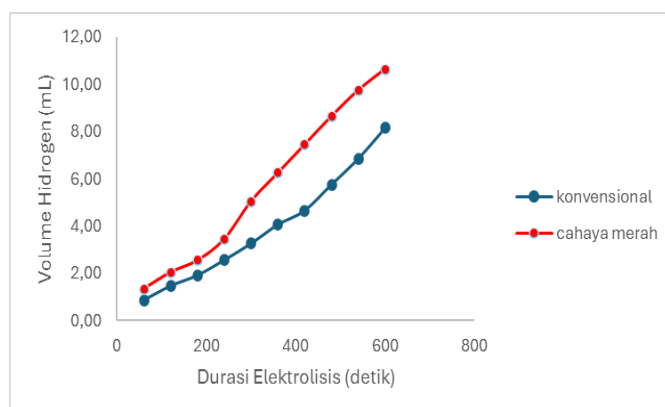
yang diperlukan. Setelah sistem elektrolisis siap, LED merah dengan intensitas 700 lumens dinyalakan dan ditempatkan pada jarak 5 cm dari larutan elektrolit. Pencahayaan LED diberikan secara kontinu selama proses elektrolisis berlangsung.

Eksperimen dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda: pertama, pada kondisi tanpa pencahayaan (sebagai kontrol) dan kedua, pada kondisi dengan pencahayaan LED merah. Kedua kondisi ini diujicobakan untuk mempelajari pengaruh pencahayaan eksternal terhadap efisiensi elektrolisis. Durasi elektrolisis untuk setiap percobaan adalah 20 menit, dengan pemantauan terus-menerus terhadap parameter eksperimen.

Suhu larutan sebelum dimulainya elektrolisis dicatat pada 23,8°C. Selama percobaan, suhu larutan tidak dipertahankan pada nilai tetap, sehingga suhu dapat berubah sepanjang eksperimen. Perubahan suhu ini dapat memengaruhi laju reaksi elektrolisis, mengingat bahwa suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan konduktivitas elektrolit dan mempercepat laju reaksi. Suhu diukur menggunakan termometer digital yang dipasang di dalam larutan untuk memantau fluktuasi suhu selama eksperimen. Selama proses elektrolisis berlangsung, volume gas hidrogen yang dihasilkan diamati dan diukur untuk mengetahui perbedaan antara dua perlakuan. Selain itu temperatur dan pH sebelum dan sesudah proses elektrolisis juga diukur untuk mengetahui perubahan kinetika reaksi elektrolisis.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Produksi Hidrogen



Gambar 2. Produksi Hidrogen

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara durasi elektrolisis (dalam detik) dengan volume hidrogen yang dihasilkan (dalam mL). Terdapat dua kurva dalam grafik: kurva biru yang menunjukkan produksi hidrogen dengan metode elektrolisis konvensional dan kurva merah yang menunjukkan produksi hidrogen dengan metode elektrolisis yang melibatkan cahaya merah.

Dari gambar 2, dapat diamati bahwa pada awal elektrolisis (0-100 detik), kedua metode menghasilkan volume hidrogen yang hampir sama. Setelah 100 detik, produksi hidrogen dengan cahaya merah mulai meningkat lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Pada sekitar 600 detik, volume hidrogen dari metode cahaya merah mencapai lebih dari 10 mL, sedangkan metode konvensional hanya mencapai sekitar 8 mL. Secara keseluruhan, metode cahaya merah meningkatkan efisiensi produksi hidrogen dibandingkan metode konvensional.

Elektrolisis air merupakan proses yang memecah molekul H_2O menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan arus listrik. Reaksi elektrokimia yang terjadi pada katoda dan anoda adalah sebagai berikut: di katoda terjadi reduksi dengan reaksi , sedangkan di anoda terjadi oksidasi dengan reaksi .

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penyinaran cahaya merah dapat meningkatkan efisiensi elektrolisis air. Hal ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme, yaitu penurunan energi aktivasi, efek termal, dan interaksi dengan katalis. Cahaya merah memiliki energi yang cukup untuk meningkatkan eksitasi elektron pada katalis elektrolisis tertentu, yang dapat mempercepat reaksi

elektrokimia. Selain itu, cahaya merah dapat meningkatkan suhu lokal di sekitar elektroda, yang mengurangi hambatan listrik dan meningkatkan laju produksi hidrogen. Jika digunakan katalis berbasis semikonduktor, cahaya merah dapat meningkatkan aktivitas katalitik melalui mekanisme fotokatalitik.

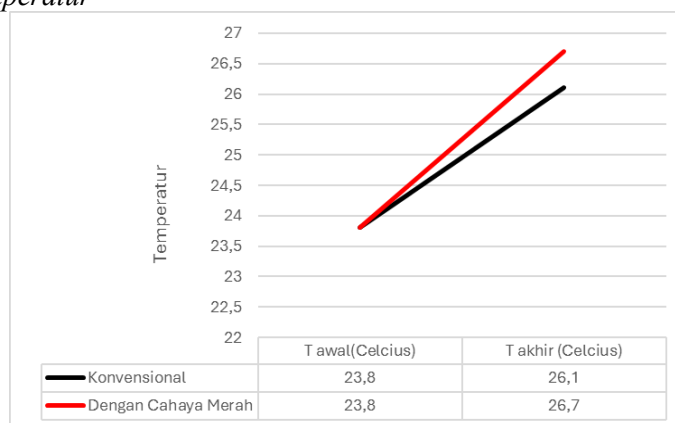
Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa penggunaan cahaya merah dalam proses elektrolisis meningkatkan produksi hidrogen dibandingkan metode konvensional. Efek ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme utama, termasuk efek fototermal, aktivasi fotokatalitik, dan modifikasi lingkungan elektrokimia.

Cahaya merah memiliki panjang gelombang yang lebih besar dibandingkan cahaya tampak lainnya, sehingga mampu menembus lebih dalam ke dalam larutan elektrolit dan elektroda. Penyerapan energi cahaya merah oleh elektroda atau medium elektrolit menyebabkan peningkatan suhu lokal, yang dapat meningkatkan laju reaksi elektrokimia. Pemanasan fototermal ini mengurangi hambatan listrik dalam larutan dan elektroda, serta meningkatkan mobilitas ion, yang pada akhirnya mempercepat produksi gas hidrogen.

Dalam sistem elektrolisis yang menggunakan katalis semikonduktor, cahaya merah dapat mengaktifkan elektron dalam material tersebut, sehingga menurunkan energi aktivasi reaksi evolusi hidrogen (HER). Penggunaan fotokatalis berbasis oksida logam yang teraktivasi oleh cahaya merah menunjukkan peningkatan efisiensi konversi energi dan produksi hidrogen yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa cahaya merah.

Cahaya merah juga dapat memengaruhi struktur lapisan difusi dan distribusi ion dalam larutan elektrolit. Penyinaran dengan cahaya merah dapat mempercepat transportasi ion H^+ ke permukaan elektroda, mengurangi overpotensial elektrolisis, dan meningkatkan efisiensi Faraday. Dengan berkurangnya overpotensial, lebih banyak energi listrik yang dikonversi langsung menjadi energi kimia tanpa banyak kehilangan energi dalam bentuk panas.

3.2. Perubahan Temperatur



Gambar 3. Perubahan Temperatur Selama Proses Elektrolisis

Berdasarkan gambar 3 mengenai perubahan temperatur selama proses elektrolisis, data menunjukkan bahwa metode konvensional memiliki temperatur awal sebesar 23,8°C dan temperatur akhir 26,1°C. Sementara itu, metode dengan cahaya merah memiliki temperatur awal yang sama, yaitu 23,8°C, namun temperatur akhirnya lebih tinggi, yaitu 26,7°C. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan temperatur selama proses elektrolisis, dengan metode cahaya merah menghasilkan temperatur akhir yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa faktor eksternal, seperti cahaya merah, dapat memengaruhi peningkatan temperatur dalam sistem elektrolisis.

Perubahan temperatur dalam elektrolisis memiliki pengaruh signifikan terhadap kinetika reaksi elektrokimia. Secara umum, peningkatan temperatur akan mempercepat laju reaksi elektrokimia karena meningkatkan energi kinetik ion dalam larutan, menurunkan resistansi larutan, dan

memperbesar koefisien transfer massa [13]. Faktor-faktor ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi proses elektrolisis, karena reaksi elektroda dapat berlangsung lebih cepat dengan adanya temperatur yang lebih tinggi.

Laju reaksi elektrokimia mengikuti persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

di mana

k adalah konstanta laju reaksi,

A adalah faktor pre-eksponensial,

E_a adalah energi aktivasi,

R adalah konstanta gas universal (8,314 J/mol.K),

K adalah temperatur dalam Kelvin.

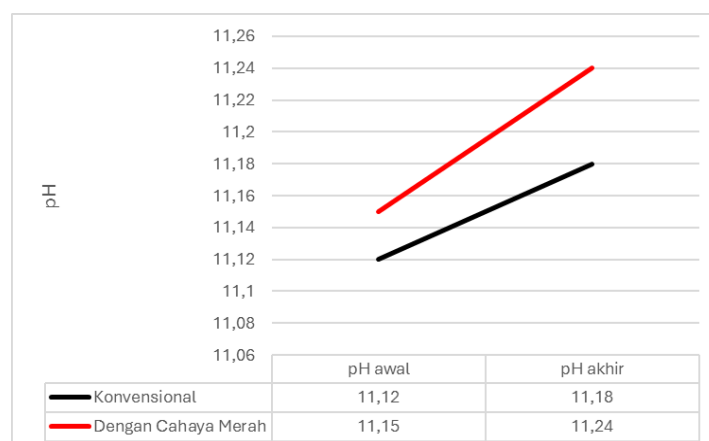
Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur akan menurunkan eksponen negatif, sehingga meningkatkan konstanta laju reaksi. Dengan meningkatnya, reaksi elektrokimia terjadi lebih cepat, yang mengindikasikan bahwa transfer elektron dan ion dalam larutan berlangsung lebih efisien. Oleh karena itu, peningkatan temperatur akibat cahaya merah dapat mempercepat reaksi elektrokimia, meningkatkan laju elektrolisis, dan berpotensi menurunkan konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang sama.

Temperatur yang lebih tinggi juga berpengaruh terhadap konduktivitas larutan elektrolit. Secara umum, peningkatan temperatur akan menurunkan viskositas larutan, yang pada gilirannya meningkatkan mobilitas ion dalam larutan tersebut. Hal ini menyebabkan konduktivitas larutan meningkat, yang berkontribusi pada efisiensi transfer elektron selama elektrolisis [14]. Konduktivitas yang lebih tinggi mengurangi hambatan dalam larutan, sehingga menurunkan tegangan yang dibutuhkan untuk memulai dan mempertahankan proses elektrolisis. Dengan demikian, kondisi ini dapat meningkatkan efisiensi energi selama elektrolisis.

Penggunaan cahaya merah dalam eksperimen ini kemungkinan berkontribusi pada peningkatan temperatur melalui absorpsi energi oleh larutan elektrolit atau elektroda. Radiasi dalam spektrum cahaya merah dapat meningkatkan eksitasi molekuler dan energi kinetik ion dalam larutan, yang pada akhirnya mempercepat reaksi elektrokimia. Selain itu, cahaya merah dapat menyebabkan pemanasan elektroda, yang dapat menurunkan hambatan antarmuka elektroda-larutan dan meningkatkan efisiensi transfer elektron.

Peningkatan temperatur yang lebih signifikan pada metode cahaya merah dibandingkan metode konvensional juga dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi elektrokimia melalui penurunan tegangan sel yang dibutuhkan untuk memulai reaksi elektrolisis [15]. Dengan kata lain, energi tambahan dari cahaya merah tidak hanya meningkatkan temperatur, tetapi juga dapat membantu mengaktifkan molekul dalam larutan, yang pada akhirnya mengurangi konsumsi energi listrik secara keseluruhan.

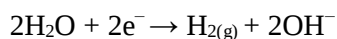
3.3. Perubahan pH



Gambar 4. Perubahan pH selama proses elektrolisis

Gambar 4 menunjukkan perubahan pH selama proses elektrolisis dalam dua kondisi, yaitu metode konvensional dan metode dengan paparan cahaya merah. Pada metode konvensional, pH awal tercatat sebesar 11,12 dan mengalami kenaikan menjadi 11,18, yang berarti terjadi peningkatan pH sebesar 0,06 unit. Sementara itu, pada metode elektrolisis dengan paparan cahaya merah, pH awal tercatat sebesar 11,15 dan meningkat hingga 11,24, dengan kenaikan pH sebesar 0,09 unit. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kedua metode menyebabkan peningkatan pH selama elektrolisis, tetapi metode yang melibatkan cahaya merah menunjukkan kenaikan yang lebih signifikan dibandingkan metode konvensional.

Dalam proses elektrolisis, perubahan pH umumnya terjadi akibat reaksi redoks yang berlangsung di elektroda. Secara umum, elektrolisis larutan air akan menghasilkan reaksi reduksi di katoda dan reaksi oksidasi di anoda. Kenaikan pH yang diamati dalam grafik mengindikasikan bahwa di katoda terjadi reaksi reduksi air, yang menghasilkan gas hidrogen (H_2) dan ion hidroksida (OH^-). Reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut:



Ion hidroksida (OH^-) yang terbentuk dari reaksi ini akan meningkatkan pH larutan, karena meningkatkan konsentrasi basa dalam sistem. Sementara itu, di anoda, kemungkinan besar terjadi oksidasi ion hidroksida menjadi gas oksigen (O_2), tetapi dalam kondisi tertentu, reaksi lain juga dapat terjadi tergantung pada elektrolit dan material elektroda yang digunakan.

Peningkatan pH yang lebih besar pada elektrolisis dengan cahaya merah menunjukkan bahwa proses ini menghasilkan lebih banyak ion OH^- dibandingkan metode konvensional. Hal ini bisa terjadi karena cahaya merah dapat berperan dalam mempercepat reaksi elektrokimia, yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.

Hasil yang menunjukkan peningkatan pH yang lebih besar dalam metode elektrolisis dengan cahaya merah dibandingkan metode konvensional mengindikasikan bahwa cahaya merah dapat memberikan dampak pada mekanisme elektrolisis. Beberapa mekanisme yang mungkin menjelaskan fenomena ini antara lain:

Dalam beberapa penelitian, diketahui bahwa cahaya merah dapat meningkatkan eksitasi elektron dalam material elektroda tertentu, terutama jika elektroda memiliki sifat fotokatalitik. Misalnya, material seperti TiO_2 atau elektroda berbasis semikonduktor dapat menyerap energi cahaya dan meningkatkan aktivitas elektrokimia. Dengan eksitasi elektron yang lebih baik, transfer elektron menjadi lebih efisien, yang dapat mempercepat reaksi reduksi di katoda dan meningkatkan produksi OH^- .

Cahaya merah juga dapat berkontribusi pada peningkatan konduktivitas larutan elektrolit dengan cara meningkatkan pergerakan ion. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa eksitasi optik dapat mengurangi hambatan larutan, sehingga arus listrik lebih mudah mengalir dalam sistem elektrolisis. Dengan demikian, reaksi elektrokimia dapat berlangsung lebih cepat dan meningkatkan

pembentukan OH^- , yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan pH lebih besar dibandingkan metode konvensional.

Jika cahaya merah dapat membantu meningkatkan mobilitas elektron di elektroda, maka laju reaksi reduksi di katoda juga akan meningkat. Peningkatan ini menyebabkan pembentukan ion OH^- yang lebih cepat, sehingga menyebabkan kenaikan pH lebih signifikan. Selain itu, perubahan struktur elektroda akibat paparan cahaya merah juga dapat mempengaruhi mekanisme reaksi pada permukaan elektroda, yang dapat meningkatkan efisiensi elektrolisis secara keseluruhan.

Dalam studi elektrokimia, kinetika elektrolisis sering kali dijelaskan menggunakan persamaan Tafel, yang menggambarkan hubungan antara overpotensial dan densitas arus sebagai berikut:

$$\eta = a + b \log i$$

dimana η merupakan overpotensial, a adalah konstanta yang bergantung pada material elektroda dan kondisi reaksi, i merupakan densitas arus.

Overpotensial yang lebih rendah menandakan reaksi elektrokimia yang lebih efisien. Peningkatan pH selama elektrolisis dapat mempengaruhi overpotensial dan meningkatkan efisiensi transfer elektron dalam sistem. Dalam banyak kasus, peningkatan pH dapat mengurangi hambatan kinetik pada permukaan elektroda, terutama dalam reaksi yang melibatkan ion hidroksida sebagai reaktan atau produk [14].

Selain itu, perubahan pH juga mempengaruhi spesies ionik dalam larutan. Dalam sistem dengan pH tinggi, spesies hidroksida lebih dominan, yang dapat meningkatkan laju reaksi reduksi dan mempercepat pembentukan gas hidrogen. Dengan demikian, semakin tinggi pH yang dihasilkan, semakin besar kemungkinan terjadi peningkatan efisiensi elektrolisis. Hal ini konsisten dengan hasil yang ditunjukkan dalam grafik, di mana kondisi dengan cahaya merah menghasilkan pH lebih tinggi, yang mengindikasikan reaksi yang lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah mengevaluasi pengaruh pencahayaan eksternal menggunakan LED merah terhadap efisiensi produksi hidrogen dalam proses elektrolisis air. Berdasarkan hasil eksperimen, ditemukan bahwa pencahayaan LED merah memberikan dampak pada proses elektrolisis, yang ditunjukkan melalui perubahan volume gas hidrogen yang dihasilkan dibandingkan dengan kondisi tanpa pencahayaan. Faktor utama yang berkontribusi terhadap perubahan ini kemungkinan berkaitan dengan efek termal dari cahaya merah serta potensial modifikasi lingkungan elektrokimia di sekitar elektroda selama elektrolisis berlangsung.

Dalam kondisi dengan pencahayaan LED merah, terjadi perubahan suhu larutan seiring berjalannya waktu, yang dapat memengaruhi konduktivitas ionik elektrolit serta kinetika reaksi elektrokimia pada elektroda. Meskipun suhu awal larutan berada pada $23,8^\circ\text{C}$ dan tidak dikontrol selama eksperimen, pencahayaan eksternal dapat menyebabkan peningkatan suhu yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi elektrolisis. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengisolasi efek spesifik dari cahaya merah, apakah pengaruhnya murni bersifat termal atau terdapat faktor lain seperti interaksi dengan medan listrik dalam larutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pencahayaan eksternal, khususnya dengan LED merah, memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi elektrolisis air. Temuan ini dapat berkontribusi pada pengembangan strategi baru dalam optimasi produksi hidrogen, terutama dalam aplikasi energi terbarukan dan sistem elektrolisis berbasis energi surya. Penelitian lanjutan dengan pendekatan eksperimental dan analitis yang lebih luas diperlukan untuk mengonfirmasi hasil ini dan mengeksplorasi implikasi praktisnya dalam skala industri.

5. Referensi

- [1] Dincer, I. (2012). Green methods for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2), 1954-1971. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.03.173>
- [2] Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 597-611. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044>
- [3] Zeng, K., & Zhang, D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 307-326. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.002>
- [4] Millet, P., Grigoriev, S., & Pineri, M. (2013). PEM water electrolysis. In L. Gucci & A. Erdohelyi (Eds.), *Catalysis for Alternative Energy Generation* (pp. 47-74). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0344-9_3
- [5] Zhou, Y., Neyerlin, K. C., Olson, T. S., Pylypenko, S., & O'Hayre, R. (2019). Enhancing electrocatalytic performance of hydrogen evolution reactions through light-induced effects: A review. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 492-517. <https://doi.org/10.1039/C8EE03134A>
- [6] Hodges, A., Hoang, A. L., Tsekouras, G., Wagner, K., & Lee, C.-Y. (2022). A high-performance capillary-fed electrolysis cell promises more cost-competitive renewable hydrogen. *Nature Communications*.
- [7] Ehrnst, Y., Sherrell, P. C., Rezk, A. R., & Yeo, L. Y. (2022). Acoustically-Induced Water Frustration for Enhanced Hydrogen Evolution Reaction in Neutral Electrolytes. *Advanced Energy Materials*.
- [8] Xie, H., Zhao, Z., Liu, T., Wu, Y., & Lan, C. (2022). A membrane-based seawater electrolyser for hydrogen generation. *Nature*.
- [9] Chen, Y., Li, J., & Lu, G. Q. (2018). Photothermal effects on electrocatalytic water splitting: A new way to enhance catalytic performance. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(18), 7940-7946. <https://doi.org/10.1039/C8TA01721H>
- [10] Bidin, N., Azni, S. R., Abu Bakar, M. A., Johari, A. R., Abdul Munap, D. H. F., Salebi, M. F., Abd. Razak, S. N., Sahidan, N. S., & Sulaiman, S. N. A. (2017). The effect of sunlight in hydrogen production from water electrolysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 346, 1-7.
- [11] Liu, X., Zhang, H., Li, X., & Zhang, Y. (2021). Photoenhanced water electrolysis in separate O₂ and H₂ cells using CuO-Cu(OH)₂/Cu₂O redox mediator electrodes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(32), 38015-38024.
- [12] Rahmat Maulana, Biaggi (2021) *Pengaruh Warna Cahaya Daya Rendah Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Fotokatalis Nano Partikel Zeolit*. Sarjana thesis, Universitas Brawijaya.
- [13] Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications* (2nd ed.). Wiley.
- [14] Newman, J., & Thomas-Alyea, K. E. (2004). *Electrochemical Systems* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- [15] Xu, N., Qiu, B., Rui, Z., Ji, T., Liu, Z., & Chu, H. (2024). Effect of heat and bubble mass transfer on the efficiency of alkaline electrolysis hydrogen production. *Nano Research*.