

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dan keadaan energi global dalam kehidupan manusia akan terus meningkat dan berbanding lurus dengan bertambahnya populasi serta industrialisasi. Sekitar 82% dari keseluruhan energi telah dikonsumsi secara global untuk keperluan industri, sumber energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil (Gaulin & Le Billon, 2020). Bahan bakar fosil dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti CO₂, SO₂, NO₂ dan jenis gas hidrokarbon yang tidak terbakar lainnya (Pellegrini, dkk., 2024), dimana hal tersebut dapat memicu perubahan iklim (pemanasan global) dan meningkatnya suhu bumi sehingga dapat berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Isu pemanasan global dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil, mendorong pencarian sumber energi alternatif dan terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim diperlukannya pemanfaatan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Ketersediaan energi alternatif di dunia ini sangat melimpah, diantaranya energi surya, energi angin, biomassa, gelombang laut, energi panas bumi, dan sumber energi terbarukan lainnya. Ketersediaan energi alternatif yang saat ini menjadi sorotan berbagai negara salah satunya adalah energi hidrogen. Hidrogen merupakan salah satu solusi dari energi yang berkelanjutan dan mendukung peralihan global dari bahan bakar fosil (Benchenina, dkk., 2025). Beberapa keunggulan yang diberikan dengan memanfaatkan energi hidrogen, yaitu sifatnya yang mudah terbakar, laju pembakaran yang cepat, hidrogen melepaskan energi dalam bentuk panas, limbahnya dalam bentuk air, dan mendukung zero karbon (Bow, dkk., n.d.; Subramanian & Ismail, 2018). Selain itu, bentuk implementasi dari penggunaan hidrogen dapat dijadikan sebagai bahan bakar transportasi, desalinasi air, pengelasan, dan sebagainya. Dengan demikian, energi hidrogen menjadi salah satu

energi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan dalam mengatasi kelangkaan energi fosil serta mengurangi pencemaran lingkungan.

Hidrogen sebagai sumber energi yang bersih dapat dihasilkan melalui berbagai teknik produksi. Salah satu teknik yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan teknik elektrolisis air. Teknik elektrolisis adalah berupa penguraian atau pemisahan antara molekul Oksigen (O_2) dan Hidrogen (H_2) dari senyawa air (H_2O) menggunakan listrik (Shiva Kumar & Lim, 2022). Pada proses elektrolisis air terdapat dua jenis elektroda, yaitu anoda dan katoda. Proses ini menghasilkan hidrogen di elektroda katoda dan oksigen di elektroda anoda (Wang, dkk., 2021). Keunggulan dari metode ini adalah teknologi yang mudah diskalakan, dapat diintegrasikan dengan energi terbarukan lainnya, dan penggunaanya mudah diimplementasikan (Chi & Yu, 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi elektrolisis air adalah penggunaan katalis, konsentrasi elektrolit, penggunaan tegangan, dan material elektroda generator gas hidrogen (Essuman, dkk., 2019).

Dalam proses elektrolisis, berbagai jenis elektrolit dapat ditambahkan pada air murni yang dapat digunakan untuk meningkatkan konduktivitas listrik dan memproduksi gas hidrogen, seperti kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), natrium klorida (NaCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan lainnya. Jenis elektrolit KOH dalam studinya dikatakan bahwa dapat menghasilkan gas hidrogen lebih banyak daripada NaOH karena nilai kompatibilitas dan kestabilan yang tinggi dengan komponen logam (Eissa, dkk., 2022).

Gas hidrogen dihasilkan dari elektrolisis air menggunakan dua jenis *cell* produksi, yaitu *dry cell* dan *wet cell* (El Soly, dkk., 2021). Dalam studi membandingkan dua *cell* tersebut, *dry cell* memiliki keunggulan lebih daripada *wet cell*, yakni pengoperasian dan perawatan *dry cell* cenderung lebih mudah, membutuhkan lebih sedikit elektrolit, dan dari segi keamanan juga lebih meyakinkan daripada *wet cell* (Muthu, dkk., 2022; Shah, dkk., 2018).

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan generator *dry cell* dapat memberikan hasil yang baik dalam meningkatkan efisiensi dari proses elektrolisis. Menurut penelitian dari Mousa (2024) ditemukan hasil optimum untuk generator *dry cell* berbasis *stainless steel* [3C3A20N] dengan laju produksi sebesar 343,9

$cm^3/menit$, energi spesifik $3,43\ kWh/m^3$, dan mendapatkan efisiensi sebesar 53,79 % (Mousa, dkk., 2024). Namun, penelitian yang dilakukan oleh El Kady (2020) penggunaan generator *dry cell* memperoleh nilai efisiensi sebesar 72,10 % dengan laju produksi gas hidrogen sebesar 866 ml/menit pada 5 g/L NaOH dengan konfigurasi [4C3A19N] pada arus 14 A dengan tegangan 6,25 V (El Kady, dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh El Soly (2021) nilai efisiensi sebesar 69,30 % diperoleh pada laju produksi gas hidrogen sebesar 1160 ml/menit pada 10 g/L dengan elektrolit NaOH menggunakan susunan generator *wet cell* [4C3A19N] (El Soly, dkk., 2021).

Pada penelitian ini perancangan dan penyusunan generator gas hidrogen *dry cell* terdiri dari 3 anoda (A), 3 katoda (C), dan 20 netral (N) berbahan material titanium (Ti) sebagai elektroda. Penggunaan elektroda titanium menawarkan beberapa kelebihan dibanding dengan jenis logam lainnya. Dalam studinya titanium memiliki aktivitas katalitik yang baik serta stabilitas dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi (Yuan, dkk., 2024; Zhang, dkk., 2020). Ti sebagai logam transisi yang kuat, ringan, tidak beracun sehingga ramah lingkungan, serta tahan terhadap korosi (Babaremu, dkk., 2022; Saurabh, dkk., 2022). Ti memiliki kestabilan pada berbagai kondisi elektrokimia, sehingga pada saat dijadikan elektroda Ti tidak mudah mengalami degradasi struktural (Si, dkk., 2021). Sifat tersebut menjadikan Ti menjadi material yang dapat digunakan dalam jangka panjang.

Pengembangan generator gas hidrogen dalam skala kecil untuk penggunaan energi yang berkelanjutan sudah mendapat banyak perhatian dari para peneliti. Hal ini menunjukkan pentingnya penelitian lanjutan dalam produksi hidrogen untuk menentukan kondisi yang optimal dalam mencapai efisiensi. Dengan menganalisis kinerja dari konfigurasi sistem tersebut, besar harapan pada penelitian ini dapat berkontribusi dalam transisi energi ramah lingkungan, berkelanjutan, mendukung *zero carbon emission*, dan produksi bahan bakar alternatif.

Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengembangkan generator gas hidrogen berbasis elektroda titanium tipe *dry cell* dengan efisiensi konversi energi yang tinggi menggunakan peralatan dan bahan yang tersedia secara lokal yang mudah dirakit, dirawat, dioperasikan, serta

menyelidiki beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja generator gas hidrogen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan latar belakang di atas, maka cakupan fokus penelitian yang menjadi sebuah dorongan kuat dalam melakukan penelitian, yaitu:

1. Bagaimana merancang dan membuat karakteristik generator gas hidrogen berbasis elektroda titanium dan elektrolit KOH untuk menghasilkan gas hidrogen?
2. Bagaimana pengaruh tegangan DC terhadap laju produksi gas hidrogen pada berbagai konsentrasi larutan KOH?
3. Bagaimana tegangan DC memengaruhi konsumsi daya pada larutan KOH dengan konsentrasi yang berbeda-beda?
4. Bagaimana pengaruh tegangan DC dengan kenaikan suhu pada variasi konsentrasi larutan KOH dalam memproduksi gas hidrogen?
5. Bagaimana tegangan DC memengaruhi kebutuhan energi spesifik produksi gas hidrogen pada berbagai konsentrasi larutan KOH?
6. Pada kondisi apa generator gas hidrogen mencapai efisiensi tinggi dan titik optimum menggunakan generator gas hidrogen?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini menghasilkan beberapa tujuan, yaitu:

1. Mengembangkan generator gas hidrogen berbasis elektroda titanium yang dapat memproduksi gas hidrogen.
2. Mengetahui pengaruh tegangan DC terhadap laju produksi gas hidrogen pada konsentrasi larutan KOH yang berbeda-beda.
3. Mengetahui pengaruh tegangan DC terhadap konsumsi daya pada konsentrasi larutan KOH yang berbeda-beda.
4. Mengetahui pengaruh tegangan DC terhadap suhu pada konsentrasi larutan KOH yang berbeda-beda.

5. Mengetahui pengaruh tegangan DC terhadap kebutuhan energi spesifik pada konsentrasi larutan KOH yang berbeda-beda.
6. Menganalisis dan mengetahui kondisi operasi terhadap efisiensi tinggi dan titik optimum menggunakan generator gas hidrogen.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan menghadirkan beberapa manfaat diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang keberadaan sumber energi hidrogen dalam sektor inovasi, teknologi, dan energi.
2. Memberikan solusi alternatif dalam penyediaan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mendukung transisi menuju energi hijau
3. Mengetahui rancangan desain dan pengembangan alat generator gas hidrogen (H_2) tipe *dry cell* berbasis elektroda titanium.
4. Mengetahui dan mendapatkan hasil terbaik dan efisiensi tertinggi dari generator gas hidrogen (H_2).
5. Memberikan wawasan serta literatur ilmiah terhadap pengembangan generator gas hidrogen (H_2).

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini mencakup dua alat, yakni berupa *monitoring box* yang berfungsi sebagai alat bantu pemantauan kinerja generator (tegangan, arus, daya, suhu, dan pengukuran gas hidrogen) serta generator gas hidrogen *dry cell* yang berfungsi sebagai wadah untuk menghasilkan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air. Proses desain, perancangan, hingga penyusunan dari generator gas hidrogen dimulai dari kajian literatur, perancangan dan perakitan, hingga pengujian, dimana variabel tegangan DC dan konsentrasi larutan divariasikan.

Selain itu, penelitian ini dilakukan melalui beberapa pengujian dan pengolahan data untuk diambil nilai rata-rata setiap parameter unjuk kerja generator (laju produksi, konsumsi daya, perubahan suhu, energi spesifik, serta efisiensi)

hingga menentukan kondisi yang optimal dalam mencapai efisiensi tertinggi pada generator dalam proses elektrolisis air serta mendapatkan korelasi antara variabel tegangan DC dan konsentrasi larutan elektrolit KOH.

1.6 Batasan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini terdapat batasan dalam melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Ruang lingkup penelitian dilakukan di Laboratorium *Material Science*, Universitas Pendidikan Indonesia pada kondisi temperatur 25 °C dan kelembapan udara 75% pada ruangan yang diaggap konstan.
2. Dalam eksperimen ini, penggunaan dan pengaturan tegangan input pada generator menggunakan tegangan DC, yakni dari 10,5 V, 11 V, 11,5 V, 12 V, 12,5 V, dan 13 V. Setiap nilai tegangan tersebut diterapkan untuk dapat melihat pengaruh tegangan terhadap kinerja generator.
3. Pada penelitian ini penggunaan hingga penyusunan generator gas hidrogen menggunakan material titanium *grade 1* yang dipilih berdasarkan hasil kajian literatur, sifatnya yang stabil, serta tahan korosi dalam lingkungan elektrokimia.
4. Jenis elektrolit yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH) dengan volume sebesar 328 ml. Konsentrasi larutan yang digunakan bervariasi, yaitu 0,05 M, 0,10 M, 0,15 M, dan 0,20 M. Variasi tersebut bertujuan untuk melihat pengaruh konsentrasi larutan terhadap kinerja generator.
5. Volume *reservoir tank* dihitung dalam eksperimen ini adalah $791 \times 10^{-6} m^3$, alat ini digunakan dalam mengukur gas hidrogen yang ditampung di *reservoir tank*.
6. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-8 untuk mendeteksi gas hidrogen yang dihasilkan oleh generator dalam satuan PPM. Selain itu, penggunaan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu untuk memantau dan mengukur suhu yang berada di dalam generator selama proses elektrolisis berlangsung.
7. Pengukuran tegangan, arus, dan daya generator diukur menggunakan PZEM-051 yang mampu membaca dan mengukur hingga 100V 50A. Alat

ini digunakan untuk pemantauan konsumsi daya generator selama proses elektrolisis berlangsung.