

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan bakar fosil terus meningkat seiring berkembangnya industri, transportasi, dan kebutuhan masyarakat. Polusi yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar fosil berdampak buruk pada lingkungan maupun kesehatan. Akibat dari penggunaan bahan bakar fosil yang berlebih ini menyebabkan terjadinya peningkatan permintaan sumber energi alternatif ramah lingkungan (Kabir *et al.*, 2019). Selama beberapa tahun terakhir, beragam sistem energi terbarukan seperti baterai, superkapasitor, elektrolisis, sel bahan bakar, dan sel surya telah dikembangkan untuk mengatasi krisis energi hijau. Selain itu, berbagai strategi dilakukan untuk menemukan cara berkelanjutan dalam pengembangan energi yang ramah lingkungan, seperti energi matahari, tenaga air, angin, panas bumi, dan biomassa (Raziq *et al.*, 2020).

Teknologi elektrolisis dapat digunakan untuk mengembangkan energi ramah lingkungan karena dampak negatif yang ditimbulkan jauh lebih sedikit dibandingkan perangkat penyimpanan energi lainnya (Zhang *et al.*, 2020). Reaksi elektrolisis air $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 2\text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$, melalui *hydrogen evolution reaction* (HER) dianggap sebagai pendekatan yang sangat menjanjikan untuk produksi hidrogen dengan kemurnian tinggi sebagai energi hijau (Wang and Tang, 2019; Chehade and Dincer, 2021). Hidrogen terkenal dengan kepadatan energinya yang tinggi dan produk samping pembakarannya bebas emisi. Pemisahan air dengan memanfaatkan kelebihan listrik dari energi terbarukan berpotensi untuk memproduksi hidrogen

yang ramah lingkungan (Mikolajczyk, 2023). Teknik elektrolisis untuk pemisahan air sangat bergantung pada katalis, karena memerlukan energi yang besar sebab energi aktivasi yang digunakan untuk memecah molekul air menjadi gas hidrogen dan oksigen sangat tinggi. Akibatnya, reaksi berlangsung lambat dan menjadi kurang efisien. Dalam hal ini, berbagai jenis paduan logam non mulia (Fe, Ni, Co & Mo) serta turunannya seperti karbida, oksida, fosfida, borida, dan kalkogenida telah diuji sebagai elektrokatalis untuk HER. Kebanyakan dari bahan-bahan tersebut biasanya mempunyai kecenderungan terhadap reaksi oksidasi serta memiliki konduktivitas listrik yang rendah (Amiripour *et al.*, 2019).

Diketahui bahwa logam mulia seperti Pt, Au, dan Pd dianggap sebagai bahan katoda andalan untuk HER karena aktivitas katalitik dan stabilitas yang baik. Unsur-unsur ini disebut logam mulia karena sifat kestabilannya dalam berbagai kondisi, sehingga sangat tahan terhadap reaksi oksidasi maupun reaksi kimia lainnya. Logam ini tidak mudah mengalami deaktivasi meskipun berada di lingkungan yang ekstrim seperti asam kuat ataupun basa kuat. Sifat ketahanan dan kestabilan kimianya yang mirip dengan gas mulia itulah yang menyebabkan logam ini disebut dengan logam mulia (Wang and Tang, 2019). Nanopartikel logam terutama emas (AuNPs) telah menarik banyak perhatian dalam bidang katalisis karena memiliki stabilitas yang baik, konduktivitas tinggi, dan sifat elektrokatalitik yang unggul (Li *et al.*, 2019). Nanopartikel memiliki konduktivitas yang tinggi karena ukurannya yang kecil dapat memberikan rasio luas permukaan yang lebih besar. Hal ini menyebabkan elektron memiliki lebih banyak ruang sehingga dapat mudah bergerak bebas. Permukaan yang luas ini memungkinkan terjadinya

interaksi elektron yang lebih efisien, sehingga dapat meningkatkan kemampuannya untuk menghantarkan listrik. Kombinasi faktor ini membuat nanopartikel lebih efisien dalam menghantarkan listrik dibandingkan material yang berukuran lebih besar (Somwanshi *et al.*, 2020). Logam Au memiliki harga produksi yang tinggi sehingga menghambat komersialisasi lebih lanjut untuk HER. Dalam hal ini, kombinasi Au dan logam yang jauh lebih ekonomis dirancang sebagai bahan perintis untuk pembuatan katalis yang hemat biaya, selain itu dengan adanya penambahan logam lain juga telah terbukti dapat meningkatkan kinerja katoda dalam proses produksi gas hidrogen (Amiripour *et al.*, 2019). Studi terbaru menunjukkan bahwa *vanadate*, seperti CeVO_4 memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan ketahanan yang baik terhadap deaktivasi (Kokulnathan *dkk.*, 2019; Ghotekar *dkk.*, 2023). Material CeVO_4 memiliki kemampuan katalitik di bidang elektrokimia yang cukup bagus, karena konduktivitas elektroniknya yang cukup tinggi (Zonarsaghar *et al.*, 2022). Berdasarkan sifatnya tersebut, CeVO_4 sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk superkapasitor, sel surya, dan elektroda (Chen *et al.*, 2021; Ponnaiah and Prakash, 2021). Serium merupakan logam tanah jarang dengan konfigurasi elektron eksternal khusus yang mengacu pada elektron kulit terluar atom yaitu $[\text{Xe}] 4f^1 5d^1 6s^2$. Terlihat bahwa konfigurasi elektron unsur serium memiliki subkulit f dan d yang hanya terisi sebagian (Wu *et al.*, 2024). Serium dalam bentuk nanopartikel oksida logam semikonduktor seperti CeO_2 dianggap sebagai akselerator elektrokatalis yang menjanjikan, karena orbital f pada serium (Ce) dapat mengadsorpsi atom hidrogen tereduksi. Hidrogen tereduksi dalam proses ini merupakan ion hidrogen (H^+) yang telah menerima satu

elektron sehingga terbentuklah atom hidrogen netral yang berperan sebagai zat intermediet. Orbital f berada pada energi yang mendekati orbital valensi (seperti orbital d dan s), sehingga dapat berinteraksi secara efektif dengan elektron yang berasal dari atom hidrogen tereduksi. Keadaan valensi campuran trivalen (Ce^{3+}) dan tetravalen (Ce^{4+}) dapat berkoeksistensi secara stabil dalam struktur CeO_2 . Sebagian ion Ce^{4+} yang tereduksi menjadi Ce^{3+} , menyebabkan hilangnya atom oksigen dari kisi kristal oksida, kekosongan inilah yang dikenal dengan cacat *oxygen vacancy*. Menyebabkan terjadinya akumulasi muatan negatif berlebih pada permukaan oksida, sehingga dapat menyediakan situs aktif tambahan untuk HER (Tian *et al.*, 2023).

Beberapa teknik sintesis material telah banyak dikembangkan seperti hidrotermal, ultrasonik, radiasi gelombang mikro, sol gel, presipitasi, solvotermal, dan teknik elektrospining (Ghotekar *dkk.*, 2023). Metode ini berdampak negatif terhadap lingkungan karena memerlukan lebih banyak bahan kimia berbahaya sebagai pelarut. Residu yang dihasilkan juga memiliki toksisitas yang tinggi terhadap lingkungan contohnya yaitu sisa larutan asam kuat atau basa kuat yang dipakai ketika proses sintesis seperti HCl , H_2SO_4 , NaOH , atau KOH yang bersifat korosif dan merusak ekosistem. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan metode sintesis yang lebih ramah lingkungan dengan meminimalisir penggunaan reagen berbahaya seperti kloroform, alkohol, dimetil sulfoksida (DMSO), dll. Salah satu cara yang dapat dilakukan, yaitu menggunakan ekstrak tumbuhan yang memiliki kandungan bioaktif tinggi sebagai zat pereduksi dan penstabil (Yang *et al.*, 2021).

Salah satu tanaman tersebut adalah *Morinda citrifolia* atau biasa dikenal dengan mengkudu, ekstrak daunnya mengandung berbagai senyawa bioaktif yang dapat mereduksi ion logam menjadi nanopartikel. Analisis kualitatif ekstrak air daun mengkudu teridentifikasi kaya akan polifenol, flavonoid, dan alkaloid. Senyawa ini dapat menyumbangkan elektron ke ion logam, mereduksinya menjadi bentuk unsur atau oksida, dan memfasilitasi pembentukan nanopartikel. Antioksidan alami daun mengkudu yang berlimpah dapat membantu menstabilkan nanopartikel yang dihasilkan serta mencegah terjadinya aglomerasi (Reddy, 2023).

Oleh karena itu, ekstrak daun mengkudu dapat digunakan sebagai bioreduktor alami dalam proses sintesis nanokomposit Au/CeVO₄-CeO₂. Dari permasalahan di atas, maka diperoleh inovasi penelitian untuk mengembangkan elektrokatalis Au/CeVO₄-CeO₂ sebagai katoda pada proses HER dengan prinsip yang lebih ramah lingkungan. Dengan adanya inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dari elektrokatalis HER serta dapat mengatasi permasalahan energi dan lingkungan.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis nanopartikel Au, nanokomposit CeVO₄-CeO₂, dan nanokomposit Au/CeVO₄-CeO₂.
2. Melakukan karakterisasi kimia nanopartikel Au, nanokomposit CeVO₄-CeO₂, dan nanokomposit Au/CeVO₄-CeO₂.
3. Melakukan efektivitas nanopartikel Au, nanokomposit CeVO₄-CeO₂, dan nanokomposit Au/CeVO₄-CeO₂ sebagai elektroda dalam proses reaksi evolusi hidrogen.