

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan pilar penting keberlanjutan dalam kehidupan dan pembangunan suatu bangsa. Ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan seperti pemanasan global. Hidrogen merupakan sumber potensial energi bersih dan berkelanjutan. Dibanding bahan bakar fosil, hidrogen memiliki kerapatan energi yang tinggi, berlimpah, dapat diperbaharui, dan dapat dihasilkan dari berbagai sumber (Rafique dkk., 2023). Permasalahan utama energi berbasis hidrogen adalah bahwa sebagian besar produksinya seperti *steam methane reforming*, dekomposisi gas alam, oksidasi parsial, dan gasifikasi batu bara masih menggunakan metode konvensional (Kumar dkk., 2020). Metode konvensional sangat bergantung pada bahan bakar fosil dalam jumlah besar sehingga mahal dan tidak ramah lingkungan.

Produksi hidrogen menggunakan proses pemisahan air (*water splitting*) dengan bantuan sinar Matahari dan fotokatalis lebih ramah lingkungan dan terjamin keberlanjutannya. Teknologi ini menggunakan dua sumber daya alam yang melimpah, yaitu air dan sinar Matahari tanpa menghasilkan emisi karbon (Pareek dkk., 2020). Titanium dioksida (TiO_2) merupakan fotokatalis yang paling banyak digunakan untuk proses pemisahan air karena stabil, tidak korosif, ramah lingkungan, dan relatif murah (Lin dkk., 2024). Meskipun demikian, efisiensi produksi hidrogen dari air masih rendah. Efisiensi rendah ini disebabkan oleh rekombinasi cepat pasangan elektron-*hole* yang dihasilkan oleh foton, reaksi balik yang cepat, dan ketidakmampuan TiO_2 untuk menyerap cahaya tampak akibat celah pita energi yang lebar, yaitu sebesar 3,2 eV.

Doping TiO_2 dengan logam dianggap sebagai solusi persoalan ini. Doping dengan logam mulia seperti platina, paladium, dan emas telah berhasil meningkatkan efisiensi fotokatalitik sebagai hasil menurunnya laju rekombinasi elektron-*hole* (Rusique dkk., 2021). Resonansi plasmonik membuat logam bertindak sebagai reservoir elektron dan memiliki kemampuan untuk mengeksitasi

elektron dalam pita konduksi saat disinari cahaya tampak, menghasilkan elektron berenergi tinggi (*hot electrons*). Elektron berenergi tinggi langsung ditransfer ke pita konduksi TiO_2 akibat terbentuknya sambungan Schottky antara logam dan TiO_2 . Resonansi plasmonik menghasilkan medan listrik lokal yang kuat sehingga meningkatkan jumlah pasangan elektron-*hole* yang dihasilkan. Peningkatan energi elektron konduksi memudahkan pemisahan elektron dan *hole* sehingga mencegah terjadinya rekombinasi.

Penggunaan logam mulia pada skala besar sulit dilakukan karena mahal dan langka, sehingga kurang ekonomis. Doping TiO_2 menggunakan logam non-mulia seperti kromium, besi, kobalt, nikel, tembaga, dan seng merupakan alternatif yang lebih rasional (Moon dan Yong, 2020). Logam-logam tersebut memiliki kemampuan untuk memperkecil celah pita TiO_2 , meningkatkan penyerapan cahaya tampak, mencegah rekombinasi, dan meningkatkan aktivitas.

Penelitian menunjukkan bahwa integrasi proses elektrolisis dan fotokatalisis dalam satu sel reaktor mampu meningkatkan produksi hidrogen secara signifikan (Engge dkk., 2023). Dengan menggunakan fotokatalis TiO_2 terdoping Ni dan nitrogen, hasil karakterisasi memperlihatkan penurunan energi bandgap dari 3,28 eV (TiO_2 murni) menjadi 2,77 eV (Ni- TiO_2) dan 2,03 eV (N-Ni- TiO_2), sehingga memperluas kemampuan penyerapan cahaya hingga ke daerah tampak. Hasil eksperimen membuktikan bahwa metode *electrophotocatalysis* menghasilkan hidrogen lebih banyak dibandingkan jumlah dari proses elektrolisis dan fotokatalisis yang dijalankan secara terpisah. Fotokatalis N-Ni- TiO_2 memberikan kinerja terbaik dengan peningkatan hasil produksi hidrogen sekitar 21% dibandingkan katalis lainnya. Birla dkk., (2023) menunjukkan bahwa pelapisan Ni pada nanostruktur TiO_2 menggunakan metode *electroless plating* secara signifikan meningkatkan aktivitas fotokatalitik untuk produksi hidrogen di bawah cahaya Matahari. Nanopartikel Ni yang terdistribusi merata pada permukaan TiO_2 , mampu memperluas serapan cahaya hingga ke wilayah tampak serta menekan rekombinasi elektron-*hole*. Uji fotokatalitik memperlihatkan bahwa TiO_2 berlapis Ni menghasilkan produksi hidrogen yang jauh lebih tinggi dibandingkan TiO_2 murni, dengan kinerja terbaik diperoleh pada ketebalan lapisan Ni yang optimum.

Doping tembaga (Cu) pada TiO₂ juga terbukti efektif untuk meningkatkan produksi hidrogen melalui fotokatalisis. Penambahan Cu menurunkan energi celah pita, memperluas respon TiO₂ ke daerah cahaya tampak, serta mempercepat transfer muatan dengan mengurangi rekombinasi pasangan elektron-*hole*. Hinojosa-Reyes dkk., (2017) menyatakan bahwa fotokatalis TiO₂ yang didoping Cu (khususnya pada komposisi 1 wt.% TiO₂/Cu menghasilkan laju produksi hidrogen sebesar 3865 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$, yang setara dengan sekitar 4 kali lebih tinggi dibandingkan TiO₂ murni (963 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$). Bakbolat dkk., (2020) melaporkan bahwa fotokatalis TiO₂ yang dimodifikasi dengan doping Au, khususnya pada komposisi 1,5 wt.% Au/TiO₂, menghasilkan laju evolusi hidrogen sebesar sekitar 1118 $\mu\text{mol h}^{-1}$, sedangkan TiO₂ murni hanya menghasilkan sekitar 560 $\mu\text{mol h}^{-1}$, sehingga menunjukkan peningkatan aktivitas hampir 2 kali lipat pada kondisi reaksi fotokatalitik yang sama. Penelitian yang dilakukan oleh (Anisha dan Vasam, 2022) menunjukkan bahwa modifikasi TiO₂ dengan doping ganda Ni dan Cu melalui metode sol-gel mampu meningkatkan sifat optik dan fotokatalitiknya. Hasil karakterisasi mengungkapkan bahwa fotokatalis yang dihasilkan memiliki ukuran kristalit rata-rata sekitar 8 nm dengan fase anatase murni, sementara celah pita energi turun menjadi 2,72 eV sehingga lebih responsif terhadap cahaya tampak. Tian dkk., (2015) menyatakan bahwa TiO₂ yang dimodifikasi Ni dan Cu dengan menggunakan metode hidrotermal menghasilkan laju evolusi H₂ lebih tinggi dibandingkan TiO₂ murni maupun TiO₂ yang hanya didoping dengan salah satu logam saja.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian Peningkatan Efisiensi Produksi Hidrogen Hijau Melalui Proses Pemisahan Air menggunakan Nanopartikel TiO₂ yang didoping Ni-Cu menggunakan metode sol gel untuk menghasilkan hidrogen yang ekonomis dan ramah lingkungan.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi produksi hidrogen hijau dengan fotokatalis TiO₂ yang didoping dengan nikel dan tembaga (Ni-Cu) dibandingkan tanpa doping.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk membantu mengembangkan teknologi produksi hidrogen yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

1.3 Ruang lingkup batasan dan batasan penelitian

Nanopartikel TiO_2 doping Ni-Cu akan disintesis menggunakan metode sol gel. Pengaruh konsentrasi doping Ni-Cu terhadap ukuran, struktur kristal, sifat optik, dan elektronik nanopartikel yang dihasilkan akan diuji menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Transmission Electron Microscope* (TEM), *ultraviolet visible* (UV-vis), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Efisiensi konversi H_2O menjadi hidrogen akan dibandingkan antara nanopartikel TiO_2 yang didoping Ni-Cu dan TiO_2 tanpa doping.

1.4 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah efisiensi produksi hidrogen hijau lebih tinggi menggunakan nanopartikel TiO_2 yang didoping Ni-Cu dibandingkan TiO_2 tanpa doping.

