BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan energi bersih (*clean energy*) menjadi perhatian utama dalam upaya menciptakan sistem energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu bentuk energi bersih yang memiliki potensi besar adalah hidrogen (*hydrogen*), karena memiliki densitas energi yang tinggi serta tidak menghasilkan emisi karbon pada saat penggunaannya (Lebepe et al., 2025). Hidrogen dapat berperan sebagai media penyimpanan energi sekaligus sumber energi alternatif yang fleksibel untuk berbagai aplikasi. Namun, keberlanjutan pemanfaatan hidrogen sangat bergantung pada metode produksinya, sehingga diperlukan teknologi produksi hidrogen yang efisien dan memanfaatkan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya (*solar energy*), agar manfaat lingkungan yang dihasilkan dapat dimaksimalkan.

Berbagai sumber energi terbarukan telah dikembangkan untuk mendukung pemanfaatan energi bersih sebagai alternatif pengganti energi konvensional. Energi surya (*solar energy*) dan energi air (*hydropower*) merupakan dua sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam sistem produksi hidrogen (*hydrogen*). Energi air pada umumnya dikonversi menjadi energi listrik yang kemudian digunakan dalam proses elektrolisis air untuk menghasilkan hidrogen, sedangkan energi surya dapat dimanfaatkan secara langsung melalui sistem konversi berbasis cahaya. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah sistem *photoelectrochemical*, yang memanfaatkan energi cahaya untuk mengaktifkan material semikonduktor sehingga memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia. Sistem ini memberikan peluang untuk menghasilkan hidrogen secara lebih efisien karena proses konversi energi dapat berlangsung secara langsung tanpa tahapan perantara yang kompleks. Dengan demikian, integrasi antara sumber energi terbarukan dan teknologi konversi energi menjadi aspek penting dalam pengembangan sistem produksi hidrogen yang berkelanjutan.

PhotoFuelCell (PFC) merupakan salah satu pengembangan dari sistem *photoelectrochemical* yang memanfaatkan energi cahaya untuk menjalankan reaksi oksidasi (*oxidation*) dan reduksi (*reduction*) secara simultan dalam satu sistem terintegrasi (Tada, 2023). Pada sistem *PhotoFuelCell*, fotoanoda (*photoanode*) menyerap radiasi cahaya dan menghasilkan pasangan elektron–hole (*electron–hole pair*) yang digunakan untuk reaksi oksidasi (*oxidation*) di ruang anoda, sementara elektron yang dihasilkan dialirkan menuju

katoda (*cathode*) untuk menghasilkan hidrogen (*hydrogen*). Keunggulan utama *PhotoFuelCell* terletak pada kemampuannya untuk mengonversi energi surya (*solar energy*) menjadi hidrogen (*hydrogen*) sekaligus menjalankan proses degradasi senyawa organik (*organic compounds*), sehingga menjadikan teknologi ini relevan dalam konteks energi bersih dan pengolahan lingkungan. Selain itu, kinerja *PhotoFuelCell* sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida (*fluid flow conditions*) di dalam ruang anoda, karena karakteristik aliran menentukan distribusi reaktan, paparan irradiasi pada permukaan fotoanoda (*photoanode*), serta efektivitas berlangsungnya reaksi fotoelektrokimia (*photoelectrochemical reaction*).

Penelitian mengenai *PhotoFuelCell* telah banyak dilakukan baik secara eksperimental (*experimental*) maupun numerik (*numerical*) untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi kinerjanya. Li et al (Li et al., 2013) menunjukkan bahwa intensitas cahaya (*light intensity*) memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja *PhotoFuelCell*, khususnya dalam pembangkitan arus listrik (*electric current*) dan degradasi senyawa organik (*organic compounds*), yang berkaitan langsung dengan proses produksi hidrogen (*hydrogen*). Sementara itu, Phuan et al. (Phuan et al., 2017) melakukan pemodelan dan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada ruang anoda *PhotoFuelCell* kontinu dengan mempertimbangkan aspek hidrodinamika (*hydrodynamics*), distribusi irradiasi (*irradiation distribution*), dan kinetika reaksi permukaan (*surface reaction kinetics*). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik aliran fluida (*fluid flow*) dan distribusi irradiasi (*irradiation distribution*) yang mencapai permukaan fotoanoda (*photoanode*) sangat memengaruhi performa sistem *PhotoFuelCell*.

Meskipun penelitian Phuan et al. (Phuan et al., 2017) telah mengintegrasikan analisis hidrodinamika (*hydrodynamics*) dan medan radiasi (*radiation field*) menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), fokus utama penelitian tersebut masih diarahkan pada optimasi desain geometrik (*geometrical design*) dan konfigurasi ruang anoda. Variasi irradiasi cahaya (*light irradiation*) dan kecepatan aliran (*flow velocity*) memang dianalisis, namun belum difokuskan secara spesifik untuk mengevaluasi kinerja aliran fluida (*flow performance*) sebagai parameter utama. Di sisi lain, penelitian Li et al. (Li et al., 2013) lebih menitikberatkan pada kinerja elektrokimia (*electrochemical performance*) secara eksperimental (*experimental*), tanpa membahas karakteristik aliran fluida (*fluid flow characteristics*) secara mendalam. Kondisi ini menunjukkan adanya *research gap* terkait analisis pengaruh simultan antara irradiasi matahari (*solar irradiation*) dan kecepatan aliran

(*flow velocity*) terhadap kinerja aliran fluida (*flow performance*) di ruang anoda *PhotoFuelCell*.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat diidentifikasi bahwa analisis mendalam mengenai pengaruh kondisi operasi (*operating conditions*) terhadap karakteristik aliran fluida pada *PhotoFuelCell* masih terbatas. Penelitian berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang ada lebih banyak berfokus pada hasil degradasi dan konfigurasi desain (*design configuration*), sementara pengaruh variasi kecepatan aliran dan irradiasi matahari terhadap distribusi kecepatan, pola aliran , dan kinerja aliran fluida belum dikaji secara komprehensif. Selain itu, penelitian eksperimenta belum mampu memberikan gambaran detail mengenai fenomena hidrodinamika di dalam ruang anoda.

Berdasarkan permasalahan dan *research gap* yang telah diidentifikasi, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh irradiasi matahari (*solar irradiation*) dan kecepatan aliran (*flow velocity*) terhadap kinerja aliran pada *PhotoFuelCell* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik distribusi aliran fluida di ruang anoda akibat variasi kondisi operasi (*operating conditions*) serta memahami hubungan antara irradiasi matahari (*solar irradiation*), kecepatan aliran (*flow velocity*), dan kinerja aliran fluida. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan dan optimasi desain (*design optimization*) serta kondisi operasi *PhotoFuelCell* untuk meningkatkan pemanfaatan energi surya (*solar energy*) dalam produksi hidrogen (*hydrogen*) sebagai sumber energi bersih.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berikut ini adalah rumusan masalah yang dapat di gunakan di penelitian ini :

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran pada *inlet* di *anodic chamber* terhadap karakteristik distribusi aliran pada *PhotoFuelCell* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi iradiasi matahari terhadap efisiensi degradasi BA dalam ruang *anoda PhotoFuelCell* ?
3. Bagaimana kombinasi *irradiasi dan* kecapatan aliran pada inlet dapat menghasilkan kinerja aliran yang memberikan performa terbaik pada *PhotoFuelCell* ?

1.3 Tujuan

Berikut adalah tujuan yang bisa di capai dengan penelitian ini :

1. Menganalisis pengaruh variasi kecepatan *inlet anodic chamber* terhadap distribusi aliran fluida pada *PhotoFuelCell*.

2. Mengetahui pengaruh iradiasi matahari terhadap efisiensi degradasi BA dalam *PhotoFuelCell*.
3. Menentukan kombinasi *irradiasi* dan Kecepatan aliran pada inlet yang memberikan performa terbaik untuk mendukung proses degradasi polutan pada *PhotoFuelCell*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak *Ansys Fluent*.
2. Fluida kerja yang digunakan adalah air dan *benezoic acid inkrompresibel* dengan sifat aliran *transien* (*unsteady*).
3. Reaksi elektrokimia dan foto katalisis tidak dimodelkan secara detail, penelitian hanya berfokus pada analisis karakteristik aliran fluida.
4. Kondisi batas atau *boundary condition* ditentukan sesuai data literatur dan asumsi standar dalam pemodelan CFD.
5. Analisis difokuskan pada fenomena hidrodinamika (pola aliran dan distribusi kecepatan) tanpa menghitung performa kelistrikan dari *PhotoFuelCell*.
6. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi tiga dimensi (3D) pada perangkat lunak ANSYS *Fluent*