

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan konsumsi energi fosil menyebabkan lonjakan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada ketidakstabilan iklim, naiknya suhu global, dan kenaikan permukaan laut. Mayoritas kendaraan di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya minyak bumi (Palupi, *et al.*, 2023). Mewujudkan ketahanan energi nasional yang berkelanjutan, pemerintah melalui program Asta Cita menetapkan transisi menuju Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dengan target kontribusi 23% pada tahun 2025 (ESDM, 2025). Salah satu energi alternatif yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah biohidrogen.

Biohidrogen tergolong sebagai bahan bakar ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon. Produksi biohidrogen melalui aktivitas mikroorganisme telah menjadi fokus perhatian secara global, mengingat potensinya sebagai sumber energi bersih yang berkelanjutan, biaya relatif rendah, serta tergolong Energi Baru dan Terbarukan (EBT) (Nuraini, *et al.*, 2024). Pembakaran biohidrogen hanya menghasilkan air (H_2O), bukan CO_2 , dan energinya mencapai 142,35 kJ/g, atau 2,75 kali lebih tinggi dari bahan bakar hidrokarbon (Gondi, *et al.*, 2024). Substrat yang digunakan dalam produksi biohidrogen umumnya berasal dari biomassa yang mengandung karbohidrat, protein, dan lemak (Mokhtarani, *et al.*, 2025). Salah satu limbah penghasil karbohidrat, protein dan lemak berasal dari limbah makanan atau limbah organik. Salah satu jenis limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai substrat adalah limbah kulit pisang yang diketahui memiliki kandungan karbohidrat sebesar 18,50% dalam komposisinya (Masriatini, *et al.*, 2020).

Kulit pisang adalah limbah buah pisang yang melimpah dan masih kurang dimanfaatkan secara optimal. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Produksi pisang nasional pada 2022 mencapai 9,60 juta ton, naik 9,79% dari tahun sebelumnya (BPS, 2024). Limbah ini berpotensi sebagai bahan baku biohidrogen secara berkelanjutan. Penelitian ini juga menggunakan starter dari kultur Campuran limbah tahu dan kotoran sapi, yang kaya akan selulosa (Zulfa, 2024).

Proses produksi biohidrogen pada penelitian ini menggunakan metode *Continue Dark Fermentation*. Metode ini memungkinkan reaktor bekerja secara berkelanjutan pada kondisi stabil dengan mempertahankan pengamatan yang berbeda dari berbagai produksi, bergantung pada waktu resistansi (Alexandropoulou, *et al.*, 2018). *Continue Dark Fermentation* dilakukan dengan cara memasukkan substrat ke dalam reaktor secara terus-menerus, sementara residu substrat dan limbah hasil proses dikeluarkan secara berkelanjutan (Wang, *et al.*, 2020). Metode ini memerlukan perhatian khusus terhadap beberapa faktor utama diantaranya, yaitu pengaturan *Organic Loading Rate* (OLR) dan pengendalian pH.

pH sangat berperan dalam jalur metabolisme dan hasil hidrogen, karena menentukan konversi glukosa menjadi metabolit melalui glikolisis. Ketidakseimbangan pH dalam sistem kontinyu dapat menurunkan efisiensi produksi biohidrogen (Antonopoulou, *et al.*, 2008). Penelitian Muhlis *et al.*, (2022) menunjukkan produksi tertinggi hidrogen dari kulit pisang terjadi pada pH 5 dengan rasio bahan baku 2:1:2. Kondisi tersebut menghasilkan volume gas hingga 16.551,22 L/mol. Pengaturan pH yang optimal penting untuk menjaga kestabilan proses dan menghindari penumpukan senyawa penghambat.

Selain pH, *Organic Loading Rate* (OLR) juga berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi proses fermentasi gelap. Nilai OLR yang terlalu rendah dapat membatasi ketersediaan nutrisi, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan pH serta mengganggu kestabilan sistem biologis. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan OLR dari 4,44 g/L menjadi 6,66 g/L pada pH 4,0 meningkatkan produksi hidrogen, namun kenaikan lebih lanjut justru menurunkannya (Dursun *and* Gülşen, 2024). Substrat lignoselulosa seperti kulit pisang raja, OLR harus dioptimalkan karena degradasinya membutuhkan waktu dan enzim tinggi (Inoue, *et al.*, 2014). Oleh karena itu, optimasi OLR juga menjadi langkah strategis dalam pengembangan sistem produksi biohidrogen berkelanjutan.

Pemanfaatan limbah kulit pisang untuk biohidrogen tidak hanya menangani masalah limbah, tetapi juga menawarkan solusi energi bersih dan berkelanjutan. Metode CDF dipilih karena efisiensinya dalam menjaga produksi secara kontinyu. Keberhasilan metode ini bergantung pada pengendalian parameter operasional,

terutama pH. Stabilitas mikrobiologis sangat penting untuk jalur metabolisme yang optimal. Dengan pengaturan pH dan OLR yang tepat, produksi biohidrogen dari limbah kulit pisang raja dapat ditingkatkan secara signifikan.

1.2 Rumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang menjadi fokus dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi pH dan *Organic Loading Rate* (OLR) terhadap produksi dan volume biohidrogen pada sistem *Continue Dark Fermentation* menggunakan limbah kulit pisang raja.
2. Bagaimana kondisi optimum variasi pH dan *Organic Loading Rate* (OLR) dalam meningkatkan produksi serta kualitas biohidrogen pada sistem *Continue Dark Fermentation* menggunakan limbah kulit pisang raja.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang diangkat pada penelitian, didapatkan tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi pH dan *Organik Loading Rate* terhadap produksi dan volume biohidrogen yang dihasilkan.
2. Menentukan kondisi optimum variasi pH dan *Organic Loading Rate* (OLR) yang mampu meningkatkan produksi serta kualitas biohidrogen pada sistem *Continue Dark Fermentation* menggunakan limbah kulit pisang raja.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi produksi biohidrogen berbasis biomassa, khususnya melalui pemanfaatan limbah kulit pisang raja sebagai substrat dalam sistem *Continue Dark Fermentation*.

2. Penelitian ini juga memperkaya kajian mengenai optimasi parameter proses, yaitu variasi pH dan *Organic Loading Rate* (OLR), yang belum banyak dikaji secara spesifik pada substrat lignoselulosa tropis seperti kulit pisang raja.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi produksi biohidrogen yang lebih efisien dan ekonomis melalui identifikasi kondisi optimum pH dan OLR pada sistem fermentasi berkelanjutan berbasis biomassa lokal.

1.5 Batasan Masalah

Menjaga fokus dan kedalaman analisis penelitian ini, serta mempertimbangkan keterbatasan waktu, sumber daya, dan ruang lingkup kajian, penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Variabel bebas yang akan diamati pada penelitian ini adalah pH dan *organic loading rate* (OLR).
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
3. Pada penelitian ini, limbah kulit pisang raja (*Musa Paradisiaca L*) digunakan sebagai substrat utama yang diperoleh dari industri keripik pisang yang berlokasi di Kabupaten Jember.
4. Limbah kotoran sapi yang digunakan sebagai kultur campuran (inokulum) dalam penelitian ini diperoleh dari kandang ternak sapi Politeknik Negeri Jember, sedangkan limbah ampas tahu diperoleh dari industri pembuatan tahu yang berlokasi di Kecamatan Kaliwates.