

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat, membawa dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positifnya adalah dapat mengurangi angka pengangguran dan meningkatkan kesejahteraan rakyat. Sedangkan dampak negatifnya adalah semakin banyaknya limbah industri yang dihasilkan (Kumar Saini et al., 2014). Permasalahannya sekarang adalah tidak hanya mencari solusi bagaimana limbah tersebut dapat bersahabat dengan manusia dan lingkungannya, namun akan lebih penting lagi bagaimana limbah tersebut dapat diolah menjadi bahan yang lebih bermanfaat (Harjanti, 2017).

Industri bioetanol merupakan industri yang sangat menjanjikan karena merupakan sumber energi alternatif untuk beralih dari bahan bakar fosil. Bahkan antara tahun 2000 hingga 2017, terjadi peningkatan sepuluh kali lipat dalam produksi biofuel global, melonjak 16 miliar liter menjadi 143 liter. (Naspolini et al., 2017). Lonjakan ini sebagian besar disebabkan oleh negara – negara tertentu yang melakukan transisi dari bahan bakar fosil ke biofuel, dengan fokus khusus pada bioetanol. Bioetanol memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil, termasuk sebagai alternatif hemat biaya dan tidak menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan, biodegradable, minimal beracun, dan bersumber dari sumber daya terbarukan (Hakika et al., 2022). Sebagian besar pabrik bioetanol di Indonesia menggunakan molase (tetes tebu) sebagai bahan baku karena biaya produksinya yang cukup murah (Setyawati et al., 2016). Namun dalam proses produksi bioetanol, sekitar 9–14 liter per produk sampingan cair, yang biasa disebut Limbah industri bioetanol (Velásquez-Riaño et al., 2018).

Limbah industri bioetanol merupakan residu cair produksi bioetanol yang mengandung zat organik tinggi, produk akhir dari proses penyulingan bioetanol untuk fermentasi molase. Sifat fisik dan kimianya ditentukan oleh bahan baku asli yang digunakan untuk memproduksi bioetanol. Limbah industri bioetanol sendiri

sangat melimpah, karena setiap liter bioetanol yang dihasilkan menghasilkan limbah industri bioetanol 10 hingga 15 kali lebih banyak (Biragova et al., 2020). Limbah industri bioetanol berada dalam kondisi asam (pH 3-5), berwarna coklat tua, dan mengandung bahan organik yang tinggi sehingga menyebabkan kebutuhan COD (Chemical Oxygen Demand) tinggi (>100.000 mg/L). Sedangkan konsentrasi BOD (Biochemical Oxygen Demand) menyebabkan limbah tidak dapat langsung dihilangkan tanpa melalui langkah - langkah yang tepat karena dapat menimbulkan kerusakan lingkungan akibat berkurangnya oksigen terlarut dalam sungai atau sumber air sehingga menyebabkan terganggunya aktivitas hayati. Oleh karena itu COD dan BOD pada limbah industri bioetanol harus diturunkan agar sesuai untuk pengolahan lingkungan, sehingga limbah industri bioetanol lebih siap terurai (Erinda et al., 2024).

Sifat limbah industri bioetanol yang kompleks memerlukan pengolahan sebelum dibuang. Salah satu proses *Advanced Oxidation Process* (AOP) seperti Fenton diterapkan sebagai metode pretreatment, karena proses Fenton lebih efektif dibandingkan metode lainnya alasannya dapat menghasilkan radikal hidroksil lebih cepat. Hidroksil inilah yang akan menguraikan senyawa organik yang terkandung dalam limbah. Dengan menggunakan bahan-bahan organik dan nutrisi yang dikandungnya untuk mengubah limbah berbahaya ini menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Oleh karena itu, metode detoksifikasi Limbah industri bioetanol yang dipilih untuk memenuhi persyaratan adalah reaksi Fenton (Yuliatun & Akbar, 2022).

Reaksi Fenton telah menjadi metode oksidasi katalitik yang populer berdasarkan pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dari hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan adanya Fe^{2+} yang bertindak sebagai katalis homogen pada pH asam dan suhu serta tekanan sekitar (Bautista et al., 2008). Ion besi memulai mengkatalisis penguraian H_2O_2 yang menghasilkan radikal hidroksil yang akan menyerang senyawa organik, radikal organik dapat ditransformasikan lebih lanjut melalui jalur yang berbeda, diantaranya reduksi ion besi menjadi besi. Lebih lanjut radikal hidroksil dapat dihilangkan sebagian melalui oksidasi ion menjadi besi (Kang et al., 2002). Salah satu kelemahan dari proses Fenton dibandingkan dengan proses

oksidasi lainnya adalah produksi *sludge* mengandung besi yang dihasilkan dari pengendapan endapan besi hidroksida yang terbentuk secara alami (Martínez et al., 2017). Untuk mengatasi masalah tersebut meregenerasi *sludge* yang mengandung besi dengan proses elektrokimia; Fe^{3+} yang direduksi menjadi Fe^{2+} melalui elektrolisis, dan kemudian Fe^{2+} digunakan kembali sebagai katalis dalam proses Fenton (Hermosilla et al., 2009). Proses regenerasi elektrolitik dinilai tidak efektif karena hanya mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} tanpa menghilangkan senyawa organik yang teradsorpsi pada flok $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang baru terbentuk (De Andrade et al., 2020). Akibatnya muatan senyawa organik pada saat pengolahan akan meningkat ketika katalis yang telah diregenerasi digunakan kembali serta COD dari air limbah akan meningkat (Li et al., 2007).

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi terbaik dari proses foto-Fenton untuk pengolahan limbah industri bioetanol?
2. Bagaimana karakteristik *sludge* besi yang dihasilkan dari proses foto-Fenton?
3. Bagaimana efektivitas dan potensi *sludge* besi yang dihasilkan dari proses foto-Fenton untuk digunakan kembali sebagai katalis?

I.3 Hipotesis

Kondisi terbaik dari proses Fenton akan menurunkan konsentrasi polutan tertinggi dalam limbah industri bioetanol. Pemanfaatan kembali *sludge* besi menjadi katalis dapat menghemat biaya dan dapat dimanfaatkan untuk siklus berikutnya sebelum proses foto-Fenton.

I.4 Tujuan

1. Mengetahui variabel terbaik dari proses foto-Fenton untuk pengolahan limbah industri bioetanol.
2. Mengetahui karakteristik *sludge* besi yang dihasilkan dari proses foto-Fenton.
3. Mengetahui efektivitas dan potensi pemanfaatan kembali *sludge* besi sebagai katalis dalam proses foto-Fenton.

I.5 Manfaat

1. Mengetahui potensi pemanfaatan *sludge* yang dihasilkan untuk menghemat biaya produksi yang diperoleh dari hasil reaksi fenton dalam penguraian polutan berbahaya dalam limbah untuk mengurangi volume limbah, dan kelestarian lingkungan sekitar.
2. Dapat meningkatkan nilai guna dari limbah padat *sludge* besi dalam proses pengolahan limbah sehingga dapat mengurangi volume limbah industri bioetanol.
3. Memperoleh ilmu keterbaruan dari pemanfaatan kembali *sludge* besi untuk reaksi foto-Fenton siklus berikutnya.