

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran air disebabkan oleh limbah industri telah menjadi permasalahan lingkungan yang sangat penting dalam beberapa dekade terakhir (Mochmad Fadillah et al., 2025). Limbah cair industri rokok merupakan salah satu limbah yang memiliki karakteristik tergolong spesifik yang berpotensi merusak ekosistem. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014, baku mutu air limbah industri rokok diatur secara ketat meliputi beberapa parameter fisis dan kimia guna mencehah pencemaran lingkungan. Batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter TSS (*Total Suspended Solids*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) masing – masing sebesar 100 mg/L. Sementara itu, Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) ditetapkan memiliki ambang batas lebih tinggi, yaitu maksimal 200 mg/L. Untuk senyawa spesifik yang bersifat lebih toksik, pada peraturan tersebut membatasi kadar Amonia maksimal sebesar 10 mg/L, kadar Minyak dan Lemak maksimal 5 mg/L, serta kadar Fenol dengan pembatasan paling ketat yaitu tidak boleh melebihi 0,5 mg/L. Selain parameter – parameter pencemar tersebut, kondisi keasaman air limbah yang dibuang juga wajib dijaga agar memenuhi baku mutu pH pada rentang 6,0 hingga 9,0. Meskipun pengolahan konvensional secara biologis maupun fisika – kimia diterapkan, metode tersebut kerap kali kurang optimal dalam mendegradasi senyawa organik persisten dan beracun yang terkandung di dalamnya (Rahmawati & Puspitaningrum, 2022).

Sebagai solusi keterbatasan pengolahan konvensional, teknologi *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) Seperti sistem Fenton diharapkan mampu mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi ini memanfaatkan reaksi kimia untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang efektif dalam mengurai polutan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan aman bagi lingkungan (Al Mayyahi & Ali Abed Al-Asadi, 2018). Salah satu pengembangan mutakhir yang dinilai lebih efisien dari metode ini adalah proses elektro-Fenton. Metode elektro-

Fenton ini mengintegrasikan prinsip elektrokimia dan oksidasi Fenton guna meningkatkan laju reaksi serta efisiensi penyisihan kontaminan secara keseluruhan (He & Zhou, 2017).

Meski sangat menjanjikan, efisiensi proses elektro-Fenton sangat bergantung pada kondisi keasaman atau pH larutan yang terbilang ketat. Proses ini hanya berjalan pada kondisi asam dengan nilai sekitar pH 3, agar reaksi katalitik dapat berjalan konstan (Oturan & Oturan, 2018). Apabila pH berada di atas 3, ion besi akan mengalami koagulasi dan mengendap menjadi ferri hidroksida sehingga menghentikan pembentukan radikal hidroksil. Di sisi lain, karakteristik air limbah industri rokok umumnya berada kondisi mendekati netral sehingga pengkondisian ke pH asam dinilai tidak ekonomis dan kurang praktis secara teknis di lapangan.

Untuk mengatasi batasan operasional tersebut, saat ini sedang dikembangkan modifikasi sistem elektro-Fenton pada $\text{pH} > 3$ dengan bantuan penambahan *chelating agent* (agen pengkelat). *Chelating agent* merupakan zat yang mampu membentuk kompleks stabil dengan ion logam melalui ikatan koordinasi dalam mencegah terjadinya pengendapan (Heidari et al., 2023). Penggunaan agen pengkelat ini berfungsi untuk mempertahankan ion besi tetap terlarut, sehingga reaksi Fenton dapat terus berlangsung pada kondisi netral atau sedikit asam (Almubarak et al., 2022). Secara umum, jenis agen pengkelat yang sering digunakan terbagi menjadi dua kategori, yaitu jenis sintetis dan alami.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja elektro-Fenton dalam menyisihkan parameter organik berupa COD dan fenol pada air limbah industri rokok. Secara spesifik, penelitian ini dirancang untuk menjawab bagaimana pengaruh rasio reagen fenton berupa hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan ferrous sulfate (FeSO_4) pada proses elektro-Fenton. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan *chelating agent* berupa asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) terhadap katalis dan efisiensi pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) serta stabilitas sistem pada kondisi operasional pH diatas 3. Melalui modifikasi tersebut, batasan pH yang selama ini menjadi kendala utama dalam sistem fenton diharapkan dapat teratasi dengan baik. Lebih lanjut, untuk mencapai performa penyisihan yang maksimal, penelitian ini juga akan mengkaji berapa waktu kontak

optimal yang dibutuhkan dalam penurunan kadar COD dan fenol pada proses elektro-Fenton tersebut. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat memperluas rentang aplikasi teknologi elektro-Fenton agar lebih aplikatif dan efisien.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi reagen Fenton berupa hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan ferrous sulfate (FeSO_4) pada proses elektro-Fenton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *chelating agent* berupa asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) terhadap katalis dan efisiensi pembentukan radikal hidroksil radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) pada proses elektro-Fenton?
3. Berapa waktu kontak optimal yang dibutuhkan dalam penurunan kadar COD dan fenol pada proses elektro-Fenton?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi reagen Fenton berupa hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan ferrous sulfate (FeSO_4) pada proses elektro-Fenton.
2. Menganalisis pengaruh penambahan *chelating agent* berupa asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) terhadap katalis dan efisiensi pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) pada proses elektro-Fenton.
3. Mengidentifikasi waktu kontak optimal yang dibutuhkan dalam menyisihkan kadar COD dan fenol pada proses elektro-Fenton.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dampak positif serta kontribusi terhadap pembaca, masyarakat, lembaga, dan instansi terkait. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mampu memberikan kontribusi ilmiah mengenai mekanisme kerja elektro-Fenton menggunakan reagen Fenton berupa hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan ferrous sulfate (FeSO_4) pada kondisi $\text{pH} > 3$.
2. Mampu memberikan hasil kinerja penambahan *chelating agent* berupa asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) terhadap katalis dan efisiensi pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) pada proses elektro-Fenton.
3. Mampu memberikan informasi terkait pengembangan teknologi elektro-Fenton yang lebih efisien dan berkelanjutan.
4. Mendukung penerapan *Sustainable Development Goals* (SDG's) terutama SDG's 6 "*Clean Water and Sanitation*" melalui penurunan parameter pencemar melalui proses elektro-Fenton.

1.5 Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Sampel air limbah diperoleh dari industri rokok yang berlokasi di wilayah Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur.
2. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah COD dan fenol.
3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan proses elektro-Fenton dengan kombinasi variasi pembentukan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), penambahan *chelating agent*, dan waktu kontak.
4. Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset, Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan "Veteran" Jawa Timur.