

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat. Namun, perkembangan ini juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama akibat limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai sektor industri. Salah satunya berasal dari proses pelapisan logam pada *home* industri di Kabupaten Gresik. Uji karakteristik limbah cair awal yang telah peneliti lakukan menunjukkan konsentrasi Cr^{6+} sebesar 997 mg/L dan kekeruhan 0,45 NTU.

Limbah cair tersebut dihasilkan dari proses pelapisan logam yang mengandung berbagai polutan berbahaya dengan sifat toksik, mutagenik, serta karsinogenik (Elystia *et al.*, 2021). Kromium heksavalen dapat menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan manusia, seperti gangguan pernapasan, kerusakan organ, hingga meningkatkan risiko kanker jika terpapar dalam jangka panjang. Limbah ini juga berpotensi mencemari air tanah serta perairan sekitar, menyebabkan gangguan ekosistem dan membahayakan organisme akuatik. Apabila pengelolaannya tidak optimal, limbah ini dapat memperburuk kondisi pencemaran lingkungan dan berpengaruh terhadap krisis kualitas air di daerah tersebut.

Berbagai metode pengolahan limbah yang mengandung konsentrasi Cr^{6+} telah diterapkan, misalnya melalui proses bioreduksi, pertukaran ion, adsorpsi memakai karbon aktif, dan reduksi berbasis mikroorganisme. Namun, metode-metode tersebut memiliki kelemahan, seperti kebutuhan energi tinggi, konsumsi bahan kimia dalam jumlah besar, serta efisiensi yang bervariasi tergantung pada kondisi operasional. Keterbatasan tersebut menjadi dasar untuk menganalisis metode alternatif yang lebih efisien, cepat, dan lebih ramah lingkungan. Fotokatalisis merupakan salah satu alternatif yang mampu mendegradasi polutan secara efektif dengan bantuan katalis dan energi cahaya. Keunggulan dari fotokatalis karena ramah lingkungan dan efisien dalam menguraikan limbah cair (Illahi *et al.*, 2020).

Penelitian terdahulu telah mengkaji efektivitas teknologi fotokatalisis dalam pengolahan limbah cair dengan berbagai sumber polutan. Studi pertama meneliti limbah industri nikel yang mengandung Cr^{6+} dengan menggunakan RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO yang menggunakan pencahayaan UV-C (8 watt dan 18 watt) dan matahari langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ZnO memiliki efektivitas lebih tinggi dalam menyisihkan Cr^{6+} dibandingkan dengan TiO₂. Efisiensi penyisihan menggunakan RIPT-ZnO mencapai 96% pada dosis 15 gram dengan waktu kontak 180 menit di bawah pencahayaan matahari (Zahrah *et al.*, 2025). Studi ini mengkaji peran fotokatalis dalam reduksi Cr^{6+} , namun masih terbatas pada limbah dari sektor pertambangan nikel serta belum mengembangkan alternatif terkait desain reaktor yang lebih efisien karena pada penelitian menggunakan proses *batch*.

Sementara itu, penelitian kedua meneliti pengolahan limbah cair dari industri tahu yang mengandung polutan organik seperti COD, Total-N, dan fosfat. Proses pengolahan dilakukan menggunakan reaktor fotokatalitik aliran kontinu dengan RIPT-ZnO dengan variasi massa katalis dan jarak lampu UV-C 32 watt untuk menentukan kondisi degradasi yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi massa RIPT-ZnO sebesar 37,5 gram dan jarak lampu 0 cm menghasilkan efisiensi degradasi tertinggi, yaitu persentase penyisihan COD sebesar 91,26%, Total-N 71,86%, dan fosfat 79,35% (Arinda *et al.*, 2025). Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan reaktor aliran kontinu.

Penelitian yang akan dilakukan memiliki keterbaruan dengan mengkaji pengaruh RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO terhadap penyisihan Cr^{6+} dari limbah industri pelapisan logam menggunakan *Fixed Bed Photocatalytic Reactor*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada limbah industri nikel dan tahu, penelitian ini menggunakan limbah industri pelapisan logam yang memiliki karakteristik lebih kompleks dengan kandungan logam berat seperti Cadmium (Cd), Timbal (Pb), Kromium Heksavalen (Cr^{6+}), Tembaga (Cu), Kromium (Cr), Seng (Zn), Nikel (Ni), Cobalt (Co), Merkury (Hg), dan lainnya (Ayub *et al.*, 2020). Selain itu, reaktor *Fixed Bed Photocatalytic Reactor* juga menggunakan reaktor fotokatalisis aliran kontinu.

Dalam penelitian ini, teknologi fotokatalisis digunakan dengan memanfaatkan sinar UV-C 15 watt yang bertujuan mengaktifkan katalis semikonduktor seperti TiO_2 dan ZnO untuk menghasilkan senyawa radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang berfungsi dalam mendegradasi polutan (Chakravorty & Roy, 2024). Sinar UV-C memiliki panjang gelombang 100–280 nm yang lebih pendek dibandingkan UV-A dengan panjang gelombang 320–400 nm dan UV-B dengan panjang gelombang 280–320 nm, sehingga memiliki energi lebih tinggi (Marbun *et al.*, 2023). Energi yang tinggi ini sangat penting untuk menembus *bandgap* fotokatalis dan memungkinkan eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi sehingga membentuk pasangan elektron-*hole* yang terlibat dalam mekanisme oksidasi-reduksi. Semikonduktor yang dimanfaatkan dalam penelitian ini memiliki perbedaan nilai celah pita (*bandgap*) yang berbeda, yaitu TiO_2 sebesar 3,2 eV dan ZnO sebesar 3,37 eV (Abdelfattah & El-Shamy, 2024).

Proses fotokatalisis memerlukan katalis yang mempercepat degradasi polutan dengan TiO_2 dan ZnO yang memiliki sifat semikonduktor. Namun, agar fotokatalis lebih stabil dan efisien, diperlukan teknik immobilisasi ke dalam material resin penukar ion yang mencegah kehilangan katalis dan meningkatkan efisiensi reaksi (Zakria *et al.*, 2021). Resin bertindak sebagai media fotokatalis untuk memastikan bahwa katalis tetap berada dalam reaktor selama proses berlangsung. Selain itu, permukaan resin yang luas meningkatkan ketersediaan situs aktif bagi reaksi fotokatalisis sehingga mempercepat penyisihan polutan. Dengan teknologi immobilisasi ini, proses fotokatalisis menjadi lebih efektif dan efisien dalam mendegradasi konsentrasi Cr^{6+} pada limbah pelapisan logam.

Mekanisme utama dalam proses ini adalah reaksi reduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} yang bergantung pada eksitasi elektron dalam material fotokatalis. Ketika elektron di pita valensi menyerap energi foton dengan energi cukup tinggi, elektron akan tereksitasi menuju pita konduksi dan meninggalkan lubang (*hole*) pada pita valensi yang dapat berkaitan dalam reaksi oksidasi. Namun, salah satu kendala utama dalam sistem fotokatalisis adalah rekombinasi elektron-*hole* yang dapat menghambat efisiensi reaksi. Jika elektron yang tereksitasi kembali ke pita valensi

sebelum bereaksi dengan molekul target, energi yang telah diserap akan hilang sebagai panas atau cahaya.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan membandingkan dan menganalisis kemampuan RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO dalam mendegradasi Cr⁶⁺ dari limbah cair pada industri pelapisan logam. Penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi material fotokatalis yang paling efektif dan efisien dalam menurunkan konsentrasi Cr⁶⁺ hingga mencapai ambang batas aman sebesar 0,1 mg/L, sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Gubernur No. 72 Tahun 2013. Resin digunakan sebagai media pengikat katalis TiO₂ dan ZnO yang diaktivasi dengan sinar UV-C 15 watt untuk mereduksi Cr⁶⁺ menjadi Cr³⁺ dalam bentuk yang lebih aman bagi lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang di atas, berikut ini rumusan masalah dalam penelitian:

1. Bagaimana perbandingan efektivitas RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO dalam menyisihkan logam berat Cr⁶⁺ limbah cair industri pelapisan logam menggunakan proses fotokatalisis?
2. Bagaimana pengaruh waktu *sampling* dan massa RIPT terhadap efisiensi penyisihan logam berat Cr⁶⁺ pada reaktor fotokatalis tipe aliran kontinu yang menggunakan RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada uraian latar belakang di atas, berikut ini tujuan penelitian:

1. Menganalisis efektivitas RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO dalam menyisihkan logam berat Cr⁶⁺ limbah cair industri pelapisan logam menggunakan proses fotokatalisis.
2. Menganalisis pengaruh waktu *sampling* dan massa RIPT terhadap efisiensi penyisihan logam berat Cr⁶⁺ pada reaktor fotokatalis tipe aliran kontinu yang menggunakan RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang dituliskan sebagai berikut:

1. Peneliti memperoleh pengalaman secara praktis sekaligus memperluas wawasan mengenai pengolahan limbah pada proses fotokatalisis di reaktor kontinyu yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut.
2. Akademisi mendapatkan sumber referensi bagi peneliti selanjutnya khususnya di bidang teknik lingkungan
3. Masyarakat memperoleh alternatif dalam pengolahan limbah terutama limbah industri pelapisan logam sehingga dapat mendorong penerapan teknologi ramah lingkungan.
4. Memberikan sumber referensi bagi peneliti selanjutnya khususnya di bidang teknik lingkungan

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam sebuah penelitian memiliki sebuah batasan, berikut ini batasan yang termuat pada ruang lingkup penelitian:

1. Sampel yang digunakan yaitu air limbah yang berasal dari *home* industri pelapisan logam Kabupaten Gresik
2. Parameter yang akan diteliti yaitu Cr^{6+} , kekeruhan, pH, dan suhu dari limbah cair industri pelapisan logam
3. Jenis perlakuan yang digunakan dalam *Fixed Bed Photocatalytic Reactor* adalah resin (kontrol), RIPT-TiO₂ dan RIPT-ZnO
4. Proses fotokatalisis dilakukan dalam reaktor kolom dengan tipe aliran kontinyu
5. Penelitian ini dilaksanakan dalam skala laboratorium di Laboratorium Kimia dan Laboratorium Riset Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, UPN “Veteran” Jawa Timur
6. Baku mutu air limbah yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 dan Peraturan Gubernur No. 72 Tahun 2013