

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di berbagai sektor, termasuk manufaktur, pertambangan, dan pengolahan bahan kimia, telah berkontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi. Namun, kemajuan ini juga membawa dampak negatif yang serius terhadap lingkungan, terutama dalam bentuk limbah anorganik. Limbah anorganik adalah jenis limbah yang terdiri dari bahan-bahan non-hayati dan tidak dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme (Ni'mah & Susila, 2022). Limbah anorganik berasal dari berbagai kegiatan industri, termasuk sektor permesinan, metalurgi, pelapisan logam, pembuatan cat, pengolahan kulit, dan pertambangan. Limbah ini sering kali mengandung konsentrasi tinggi logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Misalnya, Besi (Fe), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Kromium (Cr), Timbal (Pb), dan Cadmium (Cd). Di antara jenis logam berat tersebut kromium (Cr) termasuk logam berat yang tidak esensial atau bersifat toksik, karena keberadaannya dalam tubuh belum terbukti memiliki manfaat dan bahkan dapat menimbulkan efek racun (Said, 2018).

Kromium merupakan unsur beracun dan karsinogenik yang sangat reaktif akibat konfigurasi elektronnya yang tidak stabil. Di antara tiga bentuk kromium yang stabil di lingkungan,  $\text{Cr}^{6+}$  (heksavalen) adalah yang paling berbahaya. Tingkat toksisitas  $\text{Cr}^{6+}$  yang tinggi disebabkan oleh keberadaan anion oksida seperti kromat atau dikromat. Sebaliknya,  $\text{Cr}^{3+}$  (trivalen) lebih sering ditemukan dalam bentuk senyawa yang kurang berbahaya, seperti sulfat, hidroksida, atau oksida, di tanah dan air. (Saleem et al., 2022). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2019, kadar  $\text{Cr}^{6+}$  maksimum pada industri pelapisan logam adalah 0,1 mg/L, sedangkan untuk limbah batik kadar Cr total maksimum yang terkandung dalam industri tekstil adalah 1 mg/L. Logam berat ini dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia, tergantung pada lokasi ikatan logam tersebut dalam tubuh. Racunnya dapat mengganggu fungsi enzim, sehingga

menghambat proses metabolisme tubuh. Selain itu, logam berat ini berpotensi menyebabkan alergi, mutasi genetik, kelainan perkembangan, atau kanker pada manusia. Jalur penyerapan logam berat ini dapat melalui kulit, saluran pernapasan, atau sistem pencernaan (Said, 2018).

Terdapat beberapa teknologi pengolahan limbah yang efektif dalam mereduksi limbah industri anorganik, beberapa diantaranya adalah presipitasi, adsorpsi, dan pertukaran ion (Lata dan Samadder, 2015). Proses presipitasi menggunakan agen pengendap dapat menurunkan konsentrasi logam berat dalam limbah industri lebih dari 80%. Penambahan agen ini menyebabkan logam berat mengendap, sehingga dapat dipisahkan secara fisik dan menghasilkan air limbah dengan kandungan logam yang lebih rendah. Selain itu, adsorpsi juga terbukti menjadi metode yang ekonomis dan efektif untuk menghilangkan logam berat seperti Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, dan Zn dari limbah cair industri (Karnib et al., 2014). Menurut Asuquo et al. (2017), karbon aktif adalah adsorben yang sangat efisien untuk proses adsorpsi karena memiliki luas permukaan antara 500 hingga 1500 m<sup>2</sup>/g. Prinsip penukar ion didasarkan pada proses pertukaran ion positif atau ion negatif tertentu secara selektif dari larutan, dengan pelepasan ion lain ke dalam larutan dalam jumlah ekuivalen yang seimbang. Jumlah muatan yang diserap harus sama dengan muatan yang dilepaskan agar resin atau media penukar ion tetap stabil dan seimbang. (Purnama, 2015).

Fotokatalis adalah kombinasi reaksi antara fotokimia dan katalisis. Fotokatalisis adalah proses yang memanfaatkan cahaya dan bahan katalis untuk mempercepat reaksi kimia. Katalis sendiri adalah zat yang bisa meningkatkan kecepatan reaksi tanpa mengalami perubahan permanen. Katalis ini bekerja dengan berinteraksi bersama zat lain (substrat) atau produk yang terbentuk, baik dalam keadaan normal maupun saat tereksitasi oleh cahaya, sehingga memengaruhi laju reaksi fotokimia secara keseluruhan. (Otmer dan Kirk, 1994). Proses fotokatalisis banyak digunakan untuk mendegradasi polutan cair menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan, seperti dalam pengolahan fenol. Teknologi ini memanfaatkan iradiasi fotokatalis semikonduktor, seperti titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), seng oksida

(ZnO), atau cadmium sulfide (CdS), yang termasuk dalam kategori fotokatalis heterogen (Mahreni et al., 2021).

Ion exchange dapat diintegrasikan dengan teknologi fotokatalis untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. RIPT (*Resin immobilized photocatalyst Technology*) adalah teknologi yang menggabungkan fotokatalis dengan resin penukar ion. Dalam sistem ini, katalis diimobilisasi dalam resin, yang memungkinkan proses pengolahan limbah yang lebih efisien dan efektif. Teknologi ini menawarkan keuntungan dalam hal kemudahan pemisahan dan pengolahan limbah, serta meningkatkan kapasitas penghilangan polutan (Ayuningtiyas et al., 2022).

Kinerja dalam proses pengolahan limbah sangat dipengaruhi oleh kapasitas resin. Kapasitas ini mengacu pada jumlah ion logam berat yang dapat diserap oleh resin sebelum mencapai batas jenuhnya. Penelitian menunjukkan bahwa resin dengan kapasitas lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi dalam menghilangkan logam berat seperti  $\text{Cr}^{6+}$  dari limbah cair (Setyaningrum et al., 2019). Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas ini meliputi ukuran partikel resin, waktu kontak, dan konsentrasi ion logam dalam limbah. Meningkatkan kapasitas resin dapat memperbaiki efisiensi pengolahan, karena resin yang lebih efektif dalam menyerap ion logam berat akan menghasilkan limbah yang lebih bersih dan aman untuk dibuang ke lingkungan (Atmadani & Hidayah, 2022). Oleh karena itu, pemilihan dan karakterisasi resin yang tepat sangat penting dalam merancang sistem pengolahan limbah yang efisien.

Sebuah studi sebelumnya telah menguji resin fotokatalis yang terimobilisasi dengan ZnO untuk menghilangkan COD, Nitrogen Total, dan Fosfat dari limbah tahu. Pengujian ini dilakukan menggunakan reaktor fotokatalisis dengan aliran kontinyu. Berdasarkan hal tersebut, peneliti akan menggunakan material *resin immobilized photocatalyst* dalam reaktor fotokatalisis secara *continue* dengan variasi katalis ( $\text{TiO}_2$  dan ZnO) serta jenis limbah (pelapisan logam, batik, dan limbah artifisial sebagai kontrol) agar didapatkan kondisi optimum untuk mendegradasikan Kromium Heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) dalam ketiga limbah tersebut.

Diharapkan kondisi optimal dari reaktor fotokatalisis yang diperoleh dapat dikembangkan ke skala lebih besar (*scale-up*) dan selanjutnya diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah industri yang menghasilkan limbah anorganik, khususnya yang mengandung  $\text{Cr}^{6+}$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka permasalahan yang akan dikaji dapat dirumuskan sebagai berikut.:

1. Bagaimana pengaruh kapasitas resin dalam menyisihkan  $\text{Cr}^{6+}$  pada limbah cair industri pelapisan logam, batik, dan limbah artifisial menggunakan reaktor kontinyu dengan *Resin Immobilized Photocatalyst Technology*  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ ?
2. Bagaimana pengaruh polutan lain pada limbah industri pelapisan logam dan batik dalam proses penyisihan  $\text{Cr}^{6+}$  menggunakan reaktor kontinyu dengan *Resin Immobilized Photocatalyst Technology*  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ ?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh kapasitas resin dalam menyisihkan  $\text{Cr}^{6+}$  pada limbah cair industri pelapisan logam, batik, dan limbah artifisial menggunakan reaktor kontinyu dengan *resin immobilized Photocatalyst Technology*  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ .
2. Menganalisis pengaruh polutan lain pada limbah industri pelapisan logam dan batik dalam proses penyisihan  $\text{Cr}^{6+}$  menggunakan reaktor kontinyu dengan *resin immobilized Photocatalyst Technology*  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ .

## 1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Menyediakan informasi mengenai kapasitas resin dalam proses fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ .
2. Menawarkan teknologi alternatif yang efisien untuk pengolahan limbah cair anorganik dalam menyisihkan  $\text{Cr}^{6+}$ .
3. Memberikan sumber referensi bagi peneliti selanjutnya khususnya di bidang teknik lingkungan.

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini mencakup hal-hal berikut:

1. Limbah cair yang diteliti berasal dari dua jenis industri, yaitu industri pelapisan logam dan industri batik.
2. Parameter yang dianalisis meliputi kadar  $\text{Cr}^{6+}$  dan tingkat kekeruhan limbah.
3. Material yang digunakan dalam reaktor meliputi RIPT-ZnO dan RIPT-TiO<sub>2</sub>.
4. Analisis data meliputi pengukuran persentase penyisihan, kapasitas resin, dan uji statistik Anova One Way.
5. Penelitian ini dilaksanakan secara berkelanjutan dalam skala pilot. Lokasi penelitiannya adalah Laboratorium Air dan Laboratorium Riset dan Teknologi Teknik Lingkungan di UPN "Veteran" Jawa Timur.