

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, pemanfaatan energi nuklir dan radioisotop telah mengalami peningkatan yang signifikan di berbagai sektor, mulai dari industri, pertanian, hingga kedokteran. Menurut laporan Internasional Atomic Energy Agency (IAEA, 2020), penggunaan teknologi nuklir secara global meningkat seiring berkembangnya aplikasi radiologi medis, iradiasi pangan, serta sistem energi rendah karbon di berbagai negara.

Seiring dengan kemajuan tersebut, timbul masalah serius dalam hal pengelolaan limbah radioaktif, khususnya limbah cair yang mengandung radionuklida berbahaya. Salah satu radionuklida yang menjadi perhatian utama dalam pengelolaan limbah radioaktif adalah Teknisium-99 (^{99}Tc). Isotop ini merupakan produk fisi dari uranium-235 dengan waktu paruh yang sangat panjang, yaitu sekitar 213.000 tahun, serta berbentuk anion pertechnetate (TcO_4^-) yang sangat stabil dan mudah larut. Karakteristik ini menjadikan ^{99}Tc sangat mudah berpindah atau tersebar dilingkungan perairan dan sulit dihilangkan secara alami. Oleh karena itu, ^{99}Tc dianggap sebagai ancaman jangka panjang dalam pengelolaan limbah radioaktif (Hou, 2018).

Permasalahan ini semakin relevan mengingat fakta bahwa pengelolaan limbah cair radioaktif terus menjadi tantangan besar dalam bidang lingkungan dan kesehatan masyarakat. Limbah jenis ini sering kali memiliki komposisi kimia yang kompleks, radioaktivitas yang tinggi, serta sifat fisiokimia yang tidak mudah dolah menggunakan teknologi konvensional (Ma dkk., 2023). Untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan, diperlukan metode pengolahan yang mampu menurunkan konsentrasi radionuklida hingga berada dibawah ambang batas aman. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan dan diaplikasikan secara luas adalah metode adsorpsi.

Adsorpsi merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang sederhana, mudah, dan efisien. Proses ini melibatkan penyerapan zat pencemar dari larutan

ke permukaan padatan (adsorben). Diantara berbagai jenis adsorben yang telah digunakan, karbon aktif menjadi pilihan utama karena memiliki luas permukaan yang tinggi, struktur pori yang kompleks, serta kestabilan kimia yang baik. Pada tahun 2022, Nurhaliq dkk melakukan penelitian yang membuktikan efektivitas karbon aktif tempurung kelapa dalam menurunkan kadar pencemar organik pada limbah cair rumah sakit secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki potensi besar dalam menyerap berbagai jenis kontaminan dalam limbah cair. Selain itu, menurut penelitian (Ajani dkk., 2019) karbon aktif juga banyak digunakan dalam proses pengolahan limbah radioaktif karena kestabilannya pada pH ekstrem dan kemampuannya mengadsorpsi berbagai jenis ion logam berat dan radionuklida.

Selain karbon aktif, material lain juga menarik perhatian dalam bidang adsorpsi adalah mangan oksida (MnO_2), terutama dalam bentuk nanopartikel. Nanopartikel mangan oksida (MnO_2) memiliki luas permukaan yang tinggi dan kemampuan pertukaran ion yang baik, sehingga efektif digunakan sebagai adsorben untuk logam berat dan radionuklida. Penelitian (Utami, 2017) menunjukkan bahwa nanopartikel MnO_2 mampu mengadsorpsi ion logam Pb^{2+} secara efisien, khususnya pada kondisi pH dan waktu kontak tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa MnO_2 dapat menjadi alternatif material adsorben yang efektif jika digunakan secara tepat.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan selektivitas proses adsorpsi, pendekatan baru yang menggabungkan dua material potensial, yaitu karbon aktif dan nanopartikel mangan oksida, menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Komposit karbon aktif-nanopartikel mangan oksida diharapkan dapat menggabungkan keunggulan masing-masing komponen, yaitu daya serap tinggi dari karbon aktif dan afinitas kimia kuat dari MnO_2 terhadap jenis ionik seperti perteknetate. Dengan demikian, komposit ini memiliki potensi sebagai adsorben yang sangat efektif untuk mengatasi kontaminasi ^{99}Tc dalam limbah cair tersebut.

Guna memastikan keberhasilan proses adsorpsi, diperlukan sistem deteksi radioaktivitas yang mampu mengukur aktivitas radionuklida secara sensitif dan akurat. Salah satu alat yang umum digunakan untuk mendeteksi emisi beta dari

radionuklida seperti ^{99}Tc adalah *Liquid Scintillation Counter* (LSC). Alat ini memanfaatkan prinsip pencacahan sintilasi cair untuk mendeteksi partikel beta dengan efisiensi tinggi dan sensitivitas terhadap kadar radioaktif rendah. Menurut Hou (2018), LSC merupakan salah satu metode yang sangat dianjurkan dalam analisis lingkungan, khususnya untuk sampel dengan aktivitas rendah seperti ^{99}Tc .

Penelitian oleh Khan dan Um (2015) juga menunjukkan bahwa penggunaan *Liquid Scintillation Counter* (LSC) sangat efektif dalam mendeteksi radionuklida pemancar beta seperti ^{99}Tc karena efisiensinya yang tinggi dan sensitivitasnya terhadap aktivitas radioaktif rendah. Teknologi ini semakin penting dalam mendukung evaluasi kinerja adsorben. Sementara itu, Douglas dkk (2016) membahass bahwa pengurangan latar belakang (background) dalam sistem pencacahan sangat mempengaruhi akurasi hasil pengukuran radiaktivitas. Oleh karena itu, penggunaan alat deteksi seperti *Low Background Gross Alpha Beta Counter* juga perlu diaplikasikan dalam studi guna membandingkan efektivitas deteksi.

Selain itu, Hou (2018) dalam penelitiannya tentang teknologi pencacahan radioaktif menyatakan bahwa perkembangan terbaru dalam teknologi sintilasi dan sistem *quenching correction* menjadikan LSC sebagai alat penting dalam pengujian lingkungan nuklir, terutama untuk radionuklida seperti ^3H , ^{14}C , dan ^{99}Tc . Hal ini memperkuat landasan metodologis dalam pemilihan instrumen pengukuran pada penelitian ini. Dengan sensitivitas tinggi dan kemampuan mendeteksi radionuklida berenergi rendah, LSC menjadi solusi andal untuk analisis kuantitatif pada sampel dengan aktivitas yang sangat kecil.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya pengembangan teknologi pengolahan limbah radioaktif cair yang ramah lingkungan dan efisien. Mengingat karakteristik ^{99}Tc yang berbahaya, sulit terdegradasi, dan berumur panjang, diperlukan inovasi dalam desain adsorben yang mampu menurunkan konsentrasi radionuklida ini secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan komposit karbon aktif-nanopartikel mangan oksida dalam menyerap ^{99}Tc dari limbah radioaktif cair. Selain itu, pengukuran aktivitas radioaktif dilakukan menggunakan dua jenis detektor, yaitu *Liquid Scintillation Counter*

(LSC) dan *Low Background Gross Alpha Beta Counter*, guna memperoleh hasil yang akurat dan mendukung validasi data hasil adsorpsi.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang berguna dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah radioaktif di Indonesia, khususnya dalam pemanfaatan material lokal yang murah dan mudah diperoleh seperti karbon aktif tempurung kelapa. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat berkontribusi dalam pemahaman lebih lanjut mengenai karakterisasi dan mekanisme adsorpsi ^{99}Tc pada permukaan komposit, yang dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem pengolahan limbah skala industri dimasa depan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan kondisi optimum penggunaan komposit nanopartikel mangan oksida sebagai adsorben yang efektif untuk menyerap radionuklida ^{99}Tc dari limbah cair radioaktif.
2. Mengetahui kemampuan komposit-nanopartikel mangan oksida sebagai adsorben yang efektif untuk menyerap ^{99}Tc dari limbah cair rumah sakit dan limbah cair $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang sudah tidak digunakan.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menginformasikan bahwa material komposit karbon aktif-nanopartikel mangan oksida dapat memberikan solusi terhadap pengolahan limbah ^{99}Tc yang berasal dari penggunaan radiofarmaka berbasis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ di rumah sakit.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dan batasan penelitian yang digunakan pada penelitian yaitu :

1. Penelitian difokuskan pada pengolahan limbah cair rumah sakit yang mengandung ^{99}Tc .
2. Teknik adsorpsi dilakukan sebagai metode utama dalam eliminasi ^{99}Tc dari larutan limbah.

3. Jenis material adsorben yang dipakai pada penelitian ini hanya menggunakan komposit karbon aktif-nanopartikel mangan oksida.

