



BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Malathion merupakan pestisida organofosfat yang banyak digunakan dan keberadaannya dalam lingkungan dapat berdampak negatif merusak ekosistem dan berdampak pada kesehatan manusia (Pan dkk., 2024). Pestisida organofosfat ini dipergunakan secara luas untuk membasmi serangga serta digunakan dalam bidang kesehatan, pertanian, peternakan, dan rumah tangga, yang mempunyai daya toksisitas tinggi. Beberapa kota di Indonesia, nyamuk *Aedes aegypti* telah resisten terhadap malathion dengan tingkat resistensi sebesar 95%. Hal ini berarti bahwa penggunaan malathion yang berlebihan dapat meningkatkan resistensi pada nyamuk yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Tasane, 2016). Residu pestisida malathion di Indonesia ditemukan di Danau Singkarak, Sumatra Barat, tepatnya di lokasi Sumani, dengan konsentrasi 7 ppb. Tingginya kadar malathion ini disebabkan oleh aliran air dari sungai besar di Sumani yang memasuki Danau Singkarak dan daerah sekitarnya yang didominasi oleh area persawahan yang luas, sehingga senyawa tersebut mudah terbawa ke perairan danau. Penggunaan malathion yang meluas di wilayah ini juga berdampak buruk. Meskipun dalam konsentrasi kecil, malathion dapat mempengaruhi kelimpahan dan komposisi plankton serta perfiton dalam perairan (Syawal dkk., 2023).

Seiring dengan meningkatnya pemahaman tentang dampak berbahaya malathion, perhatian global terhadap penggunaannya dalam pertanian dan kesehatan masyarakat semakin mendalam. Batas aman untuk kadar malathion dalam air yang telah ditetapkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) adalah tidak lebih dari 0,1-0,2 mg L⁻¹ (Dehghani dkk., 2017). Selain itu *World Health Organization* (WHO) juga menetapkan bahwa batas aman malathion yaitu dengan konsentrasi kurang dari 0,1 µg L⁻¹ (Liu dkk., 2024). Meskipun nilai yang ditetapkan oleh US EPA lebih tinggi, batas yang ditetapkan WHO dianggap lebih konservatif karena mempertimbangkan risiko paparan kronis jangka panjang. Oleh karena itu, dalam konteks perlindungan terhadap kesehatan manusia, batas aman yang merujuk pada pedoman WHO dijadikan acuan. Konsentrasi malathion dalam air yang



melebihi $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ sudah dianggap melampaui ambang batas aman dan berpotensi menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia apabila terjadi paparan jangka panjang. Malathion efektif dalam mengendalikan berbagai hama, tetapi penggunaan malathion yang berlebihan dapat menyebabkan polusi lingkungan dan risiko kesehatan seperti kerusakan neurologis, reproduksi, dan kanker. Malathion dan produk sampingannya dapat menyebabkan kontaminasi luas di tanah, air permukaan, udara, dan air tanah, yang menimbulkan risiko toksisitas tinggi bagi organisme hidup (Wang dkk., 2024). Oleh karena itu, peraturan ketat telah diberlakukan terhadap penggunaan pestisida, terutama batasan kadar malathion yang ditetapkan oleh WHO.

Teknologi untuk menghilangkan kontaminan dalam air menjadi semakin penting seiring dengan perlunya penanganan residu berbahaya di lingkungan. Teknologi untuk menghilangkan kontaminan dalam air melibatkan beberapa metode yang berbeda diantaranya modifikasi nanofiltrasi dan proses oksidasi lanjutan, deteksi elektrokimia, dan biodegradasi. Metode remediasi malathion memiliki dampak negatif yang perlu dipertimbangkan (Zhang and Pagilla, 2010). Nanofiltrasi dan oksidasi lanjutan memiliki kelemahan yaitu boros energi, berbiaya tinggi, dan berisiko menghasilkan produk sampingan beracun (Mekonnen, 2024). Deteksi elektrokimia memiliki beberapa kelemahan, seperti *fouling* elektroda, potensi toksisitas nanokomposit, serta risiko kesehatan. Sementara itu, biodegradasi memiliki kelemahan berlangsung lambat dan membutuhkan kondisi khusus, sedangkan adsorpsi lebih mudah dan efisien (Wang dkk., 2025). Metode adsorpsi merupakan metode yang relatif sederhana dengan biaya yang rendah sehingga cocok untuk menghilangkan polutan. Selain metode adsorpsi mempunyai keuntungan di bidang ekonomi dan lingkungan, operasi metode tersebut juga mempunyai efisiensi pemurnian yang tinggi dan selektivitas yang baik (Li dkk., 2024).

Adsorpsi merupakan metode yang efektif untuk remediasi malathion di lingkungan. Berbagai jenis adsorben telah dikembangkan dan digunakan dalam proses adsorpsi malathion diantaranya yaitu bentonit, nanokomposit, dan kitosan (Sorour dan Shaalan, 2013; Mekonnen, 2024; Sabbagh dkk., 2021). Bentonit



memiliki kapasitas adsorpsi rendah dan cenderung mengakumulasi partikel pada membran nanofiltrasi, mengurangi efisiensi filtrasi serta meningkatkan biaya operasional (Sorour and Shaalan, 2013). Nanokomposit CdS/CeO₂/Ag₃PO₄ dengan polianilin berpotensi toksik akibat pelepasan nanopartikel dan rentan terhadap *fouling* elektroda, yang dapat menurunkan sensitivitas serta akurasi sensor (Mekonnen, 2024). Sementara itu, kitosan-alginat memiliki efisiensi adsorpsi yang tinggi, tetapi sintesisnya kompleks dan sensitif terhadap perubahan pH sehingga dapat mempengaruhi efektivitas adsorpsi (Sabbagh dkk., 2021). Dengan demikian, diperlukan adsorben yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengadsorpsi malathion, salah satunya adalah biochar okara (Suratman dkk., 2024).

Okara merupakan limbah dari produksi tahu dan susu kedelai, memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya bahan yang berharga untuk disintesis. Okara kaya akan nutrisi, termasuk serat, protein, dan lipid, yang dapat meningkatkan kualitas tanah ketika digunakan sebagai biochar. Selain itu, okara dapat memberikan solusi untuk pengelolaan limbah yang lebih baik. Biochar dari okara dapat meningkatkan retensi air dan kapasitas tukar kation tanah, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman. Okara mampu mengadsorpsi logam berat, sehingga berkontribusi dalam pemulihan lingkungan dari zat pencemar (Li dkk., 2012). Biochar okara telah digunakan untuk adsorpsi zat warna diantaranya *methylene blue* (MB), *neutral red* (NR), *malachite green* (MG), dan *eosin yellow* (EY) (Shan dkk., 2022; Suratman dkk., 2024). Selain itu juga digunakan untuk adsorpsi antibiotik tetrasiklin tetapi belum digunakan untuk adsorpsi malathion (Ogata dkk., 2016; Li dkk., 2021). Adsorpsi biochar okara dengan aktivasi HCl bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan, porositas, serta modifikasi gugus fungsi aktif yang berperan dalam mekanisme adsorpsi (Zhang dkk., 2025). Meskipun banyak studi yang telah membahas penggunaan biochar okara pada adsorpsi logam, zat warna, dan antibiotik, namun belum ada penelitian yang secara spesifik penggunaan biochar okara yang diaktivasi HCl untuk adsorpsi malathion. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yaitu memanfaatkan biochar okara teraktivasi HCl sebagai adsorben senyawa malathion yang efektif dan ramah lingkungan.



I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Melakukan sintesis dan karakterisasi biochar okara teraktivasi HCl untuk adsorpsi malathion.
2. Menganalisis pengaruh pH, massa adsorben, waktu kontak, konsentrasi awal malathion, dan suhu terhadap efektivitas adsorpsi malathion.
3. Mengevaluasi kemampuan regenerasi biochar untuk pemakaian ulang sebagai adsorben.

I.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan teknologi baru yang berpotensi dalam pengolahan limbah melalui sintesis biochar okara. Biochar ini tidak hanya mengubah limbah menjadi material yang berguna, tetapi juga dapat meningkatkan efektivitas adsorpsi senyawa malathion serta mengurangi kontaminan berbahaya dengan proses yang lebih efisien. Penelitian ini menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan memperbaiki kualitas air, sekaligus memanfaatkan sumber daya terbarukan secara optimal.