

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Potensi sumber daya laut Perairan Karimunjawa sangat besar, di antaranya sumber daya hayati seperti mangrove, rumput laut, terumbu karang (Susilowati, 2013), kegiatan konservasi, budidaya ikan kerapu (Yusuf, 2013). Namun perairan Karimunjawa menghadapi pencemaran, terutama oleh logam berat. Sumber utama pencemaran logam berat tersebut umumnya berasal dari aktivitas manusia seperti limbah industri, limbah pertanian, dan pembuangan limbah domestik. Logam berat bersifat persisten dan beracun, meskipun beberapa logam seperti Cu dan Fe penting secara biologi, logam seperti Pb dan Hg tidak memiliki peran biologis dan bersifat toksik bahkan pada konsentrasi rendah (Yusfaddillah *et al.*, 2023). Kandungan logam berat Pb yang paling tinggi ditemukan di Pulau Burung dengan konsentrasi 0.00405 ppm. Kandungan Pb terendah ditemukan di perairan Terusan Kemojan, sebesar 0.00143 ppm (Faiz *et al.*, 2013). Penelitian menunjukkan bahwa logam berat seperti timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) telah terdeteksi di perairan dan sedimen Indonesia serta berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat pesisir.

Akumulasi logam berat dalam jaringan organisme laut dapat menimbulkan efek toksik pada rantai makanan, logam berat dapat terbioakumulasi dalam tumbuhan dan hewan akuatik, lalu terserap ke dalam

tubuh manusia melalui konsumsi makanan laut. Semua faktor ini menimbulkan risiko kesehatan dan ekologis yang serius jika tidak dikendalikan (Saputri *et al.*, 2023). Untuk mengatasi masalah tersebut, metode konvensional sering kali diterapkan yang melibatkan proses fisik, kimia, atau elektrokimia. Namun, metode tersebut memiliki kelemahan, yaitu biaya operasional yang tinggi, menghasilkan limbah sekunder, serta kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi yang lebih murah, efisien, dan ramah lingkungan.

Salah satu metode untuk mengatasi pencemaran logam berat adalah biosorpsi. Biosorpsi merupakan proses untuk menghilangkan polusi logam berat dengan memanfaatkan bahan biologis termasuk bakteri, ragi, alga, dan jamur. Biomassa tersebut memiliki sifat penyerap logam dan dapat menurunkan konsentrasi ion logam berat dalam larutan dari tingkat ppm ke ppb. Biomassa secara efektif dapat memisahkan ion logam terlarut dari larutan kompleks encer dengan efisiensi tinggi dan cepat. Hal ini merupakan pilihan ideal untuk pengolahan air limbah kompleks bervolume tinggi dan konsentrasi rendah (Wang & Chen, 2006). Namun, sumber biomassa potensial yang masih kurang dieksplorasi, yaitu komunitas bakteri yang bersosiasi dengan makroalga. Bakteri tersebut dapat beradaptasi dan memiliki resistensi untuk bertahan dari stres logam berat di lingkungan laut. Alga dan bakteri memiliki hubungan simbiosis kompleks, di mana bakteri sering kali membantu inangnya dalam proses detoksifikasi (Goecke *et al.*, 2010).

Kappaphycus sp., menjadi sumber pangan bagi banyak organisme laut, *Kappaphycus* sp., juga menjadi habitat bagi komunitas bakteri epifit yang beragam. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa biomassa kering *Kappaphycus* sp., dapat menyerap ion Pb dari larutan, sehingga efektif berperan sebagai biosorben logam berat berbiaya rendah. Oleh karena itu, bakteri yang berasosiasi dengan *Kappaphycus* sp. memiliki potensi besar sebagai agen biosorpsi logam berat di lingkungan laut. *Kappaphycus* sp. tumbuh pada perairan yang bersih, sehingga sampel *Kappaphycus* sp. di ambil dari Pulau Kemojan, dikarenakan Pulau Kemojan memiliki kandungan Pb terendah, yaitu sebesar 0.00143 ppm (Faiz *et al.*, 2013).

Faktor yang menentukan keberhasilan proses biosorpsi adalah pengaruh pH, pH lingkungan memengaruhi muatan permukaan biomassa, aktivitas metabolik bakteri, dan spesiasi ion logam. Ketika pH rendah, konsentrasi ion H⁺ yang tinggi akan bersaing dengan ion logam untuk menempati situs aktif pada dinding sel bakteri, sehingga efisiensi penyerapan rendah. Sebaliknya, pada pH yang terlalu tinggi, logam dapat mengendap sebagai hidroksida yang justru mengurangi ketersediaannya untuk diserap. Variasi pH secara signifikan mengubah efisiensi biosorpsi (Özcan *et al.*, 2005). Berdasarkan baku mutu Kepmeneg LH No. 51 Tahun 2004, nilai pH yang ideal untuk Kawasan budidaya perikanan, yaitu antara 7 – 8.5. Perairan Indonesia memiliki nilai pH berkisar antara 7.5 – 8, perairan yang lebih dalam memiliki nilai pH yang lebih rendah (Vadiany *et al.*, 2022). Biosorpsi pada timbal memperoleh pH yang ideal pada kisaran

5.5 – 7.5 (Cruz-Lopes *et al.*, 2021). Perairan Karimunjawa memiliki rentang pH antara 7.6 – 7.95 yang artinya kondisinya baik untuk biota laut (Rizki *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai biosorpsi logam berat telah menunjukkan hasil yang signifikan. Penelitian di Pulau Kotok Besar, Kepulauan Seribu, menunjukkan bahwa makroalga *Sargassum crassifolium* efektif dalam mengadsorpsi logam berat dari air limbah industri (Putri & Syafiq, 2019). Penelitian Parmar *et al.* (2020b) menunjukkan kemampuan biosorpsi terhadap logam berat Pb sekitar 82.92% pada kondisi optimum pH 5 dan 7. Fathollahi *et al.* (2021) pada meta-analisis biosorpsi oleh bakteri juga menemukan bahwa efisiensi penyerapan Pb oleh biomassa bakteri dicapai pada nilai pH antara 6 – 7.5. Biomassa bakteri hidup secara signifikan lebih efisien dalam biosorpsi daripada biomassa mati. Penelitian Haque *et al.* (2021) menunjukkan bahwa *Bacillus thuringiensis* dan *Vitreoscilla* sp. terbukti efektif dalam biosorpsi logam berat yang dapat menghilangkan Pb hampir sepenuhnya pada pH 6 – 7.

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas berbagai jenis biomassa dalam biosorpsi logam berat, tetapi masih kurangnya penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi efisiensi biosorpsi Pb oleh bakteri asosiasi *Kappaphycus* sp., khususnya yang berasal dari perairan Karimunjawa. Penelitian ini diharapkan dapat menambah *database* tentang potensi bakteri asosiasi *Kappaphycus* sp, kemudian menganalisis efisiensi biosorpsinya terhadap ion timbal (Pb) pada berbagai

variasi pH, guna menentukan kondisi optimum yang dapat diaplikasikan lebih lanjut sebagai solusi bioremediasi yang murah, efektif, dan berkelanjutan untuk perairan Indonesia.

1.2. Permasalahan

1. Berapa banyak isolat bakteri diperoleh dari *Kappaphycus* sp. yang tahan terhadap logam Pb?
2. Bagaimana efisiensi biosorpsi Pb oleh bakteri asosiasi *Kappaphycus* sp. pada variasi pH 5, 7, dan 9?
3. Bagaimana identitas molekuler isolat terpilih dari bakteri asosiasi *Kappaphycus* sp.?

1.3. Tujuan

1. Memperoleh isolat bakteri dari *Kappaphycus* sp. yang tahan terhadap logam Pb.
2. Menganalisis pengaruh variasi pH terhadap efisiensi biosorpsi logam berat Pb oleh bakteri asosiasi *Kappaphycus* sp.
3. Mengidentifikasi bakteri asosiasi dari makroalga *Kappaphycus* sp. secara molekuler.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengetahuan tentang keanekaragaman dan karakteristik bakteri asosiasi pada makroalga *Kappaphycus* sp. dan memperoleh isolat bakteri lokal yang efektif untuk biosorpsi Pb, yang dikembangkan potensinya untuk bioremediasi di perairan tercemar logam berat.