

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

1. Pengertian eceng gondok

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan salah satu jenis tumbuhan air mengapung. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan asal Jerman yang bernama Carl Friedrich Philipp von Martius, pada tahun 1824 secara tidak sengaja saat sedang ekspedisi di sungai Amazon Brazil. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan (Ardiyanti *et al.*, 2019).

Eceng gondok adalah tumbuhan air terapung yang mudah dikenali dari pelepah daunnya yang menggembung seperti spons sehingga memberikan daya apung, daun berbentuk lonjong, dan sistem akar serabut yang sangat lebat serta menjuntai ke dalam air. Akar serabut tersebut meningkatkan luas permukaan kontak antara air dan rizosfer sehingga menjadi habitat mikroorganisme pengurai organik dan area penjerapan partikel tersuspensi kombinasi struktur akar dan laju pertumbuhan yang cepat (dapat menggandakan biomassa pada kondisi nutrisi tinggi) membuat eceng gondok sangat adaptif pada kondisi perairan yang bervariasi (pH, suhu, dan beban nutrisi) serta mudah dikultur untuk aplikasi fitoremediasi. Meskipun sering dianggap gulma, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat digunakan untuk mengolah limbah, karena eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) menjadi salah satu perkembangan metode fitoremediasi, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu menghilangkan nutrisi

mineral, menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, merkuri, timah, kadmium, nikel, dan yang terlarut di perairan. Hal ini karena eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mempunyai kemampuan membentuk fitokelatin dimana senyawa peptide yang dihasilkan oleh tanaman mampu mengakumulasi logam dengan jumlah yang besar (Djo *et al.*, 2017).

2. Kemampuan eceng gondok dalam fitoremediasi

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) telah banyak diteliti sebagai agen fitoremediasi karena kemampuan fisik-biologisnya yang efektif menurunkan berbagai parameter pencemar air; akar serabutnya tidak hanya menjebak partikel tersuspensi sehingga mengurangi TSS secara mekanis (rhizofiltrasi), tetapi juga menjadi habitat bagi mikroba rizosfer yang mempercepat degradasi bahan organik penyumbang BOD/COD, serta berperan dalam akumulasi logam berat melalui mekanisme fitokhelasi. Penelitian laboratorium dan lapangan di Indonesia melaporkan pengurangan TSS yang substansial setelah perlakuan eceng gondok, studi di Politeknik Kesehatan Tanjung Karang menemukan penurunan TSS sebesar $\approx 80,8\%$ pada limbah tempe setelah perlakuan eceng gondok (1 kg per 20 L) selama periode percobaan, dan berbagai skripsi serta artikel jurnal lokal menunjukkan konsistensi hasil penurunan TSS, BOD, dan COD pada limbah domestik saat eceng gondok digunakan dalam sistem reaktor sederhana atau *wetland* buatan. Temuan-temuan ini memperkuat bahwa eceng gondok merupakan alternatif pengolahan limbah rumah tangga yang murah dan mudah diimplementasikan di komunitas, terutama untuk menurunkan TSS sebagai parameter kunci kualitas air (Putri *et al.*, 2023).

Dalam literatur percobaan skala laboratorium di Indonesia, dosis eceng gondok yang sering digunakan bervariasi menurut tujuan dan konsentrasi awal pencemaran namun ada konsistensi praktis pada rentang percobaan beberapa studi eksperimen menggunakan 50 g eceng gondok segar untuk 1 liter sampel limbah sebagai titik awal, sedangkan percobaan lain menguji variasi 50 g, 100 g, hingga 150 g per 1 liter dalam botol eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh biomassa terhadap efisiensi pengolahan dari hasil-hasil ini angka praktis yang sering direkomendasikan pada skala laboratorium adalah 50–150 g eceng gondok segar per 1 L sampel, dengan catatan: rasio optimal harus divalidasi untuk tipe limbah (*greywater* dan *blackwater*) dan konsentrasi awal TSS (Purwati *et al.*, 2021).

3. Faktor yang memengaruhi eceng gondok dalam fitoremediasi

Efektivitas Eceng Gondok dalam fitoremediasi limbah cair dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci yang saling berkaitan:

- a. Biomassa tanaman (dosis), dimana semakin besar massa eceng gondok relatif terhadap volume air, semakin luas area akar yang tersedia untuk penjerapan partikel dan habitat mikroba rizosfer sehingga kapasitas penurunan TSS meningkat. Penelitian menyatakan 1 kg eceng gondok pada 20 L menunjukkan penurunan TSS signifikan (Putri *et al.*, 2023).
- b. Waktu kontak atau *detention time* menentukan berapa lama proses mekanik (penjerapan) dan biologis (degradasi mikroba) berlangsung. Penelitian menyatakan mayoritas waktu yang diperlukan agar eceng gondok memberikan dampak maksimal untuk fitoremediasi adalah 5 sampai dengan 14 hari sebelum terjadi kejenuhan atau stres tanaman.

- c. Kondisi fisik dan kimia awal air (pH, suhu, konsentrasi nutrisi dan bahan organik) sangat mempengaruhi kesehatan tanaman dan aktivitas mikroba sehingga memodulasi hasil fitoremediasi; pH ekstrem atau bahan organik sangat tinggi dapat menurunkan kinerja tanaman (Sahani *et al.*, 2025).
- d. Aerasi dan sirkulasi air mempengaruhi ketersediaan oksigen terlarut untuk mikroba pengurai sehingga berdampak pada penguraian bahan organik yang melekat pada partikel tersuspensi (Ningrum *et al.*, 2020).
- e. Manajemen biomassa yaitu pemanenan eceng gondok dan pencegahan pembusukan eceng gondok. Hal ini sangat penting untuk mencegah pelepasan kembali polutan yang telah terakumulasi. Biomassa yang tidak dipanen dapat membusuk dan melepaskan kembali bahan organik atau logam ke kolom air.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor di atas dan menyesuaikannya pada karakter limbah rumah tangga setempat, penelitian dengan desain eksperimen *pre-post* (sebelum dan sesudah) dapat dioptimalkan untuk menghasilkan data TSS yang valid dan dapat digeneralisasi.

B. Limbah Cair Domestik (Rumah Tangga)

1. Pengertian limbah cair domestik (rumah tangga)

Limbah cair merupakan hasil dari berbagai aktivitas manusia, baik yang berasal dari rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum. Selain itu, limbah ini juga dapat berasal dari sumber alami seperti air tanah dan air permukaan, serta berbagai jenis buangan lainnya. Hal ini menegaskan bahwa air limbah umumnya dipandang sebagai sesuatu yang tidak bersih dan memerlukan penanganan yang tepat guna menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Almufid, 2020).

Secara umum, limbah cair adalah air bekas pakai yang digunakan dalam berbagai kegiatan seperti rumah tangga, industri, maupun pertanian, yang kemudian perlu dikumpulkan, diolah, dan dibuang secara tepat agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Kandungan limbah cair sangat beragam, karena dapat mencakup berbagai zat dan bahan yang berpotensi membahayakan makhluk hidup serta merusak ekosistem perairan. Limbah cair rumah tangga umumnya mengandung beberapa parameter pencemar seperti BOD, COD, TSS, pH, Amoniak, dan Minyak Lemak (Soyan *et al.*, 2022). Jenis dan jumlah air limbah yang dihasilkan suatu komunitas juga sangat bergantung pada beberapa faktor seperti tingkat ekonomi, pola hidup, dan kondisi infrastruktur sanitasi. Semakin tinggi tingkat kesejahteraan masyarakat, semakin kompleks pula limbah yang dihasilkan, karena aktivitas industri dan konsumsi rumah tangga yang lebih intensif cenderung menghasilkan limbah yang lebih beragam (Almufid, 2020).

Limbah cair domestik merupakan salah satu sumber pencemaran terbesar bagi perairan. Secara prinsip limbah cair terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu limbah cair yang terdiri dari air buangan tubuh manusia yaitu tinja dan urin (*black water*) dan limbah cair yang berasal dari buangan dapur dan kamar mandi (*grey water*), yang Sebagian besar merupakan bahan organik (Naufal *et al.*, 2023).

2. Karakteristik limbah cair domestik (rumah tangga)

Karakteristik limbah cair domestik (*grey* dan *black water*) memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Limbah cair “*grey water*” yaitu limbah yang berasal dari dapur, air bekas cuci pakaian dan air mandi yang banyak mengandung unsur minyak dan lemak. Sedangkan, *black water* adalah limbah cair yang berasal

dari air sisa kakus manusia yang berbentuk tinja atau cairan lain, air ini lebih banyak mengandung kadar organik dan suspensi yang tinggi. Limbah cair domestik umumnya terdiri dari limbah yang sebagian berbentuk larutan dan sebagian lagi merupakan larutan suspensi. Sertalimbah cair juga mengandung zat organik yang berguna bagi mikroorganisme sapropbyotic, yaitu organisme pembusuk (Kholif & Sugito, 2020).

Baku mutu limbah cair domestik menurut PerMen LHK Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik adalah seperti pada tabel 1 berikut :

Tabel 1
Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah / 100ml	3000
Debit	L / orang / hari	100

Sumber: PerMen LHK No. 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah

3. Dampak limbah cair domestik (rumah tangga)

Menurut Kristanto & Philip (2002) dalam Widjaja & Gunawan, (2022) dampak limbah rumah tangga terhadap kualitas air sangatlah signifikan, memunculkan masalah pencemaran lingkungan yang mencakup berbagai aspek. Contohnya air bekas mencuci dan air bekas mandi merupakan jenis limbah rumah

tangga yang seringkali mengandung deterjen, sisa-sisa kosmetik, dan bahan kimia lainnya yang dapat mencemari air. Ketika limbah-limbah ini bercampur dengan air terjadi pencemaran yang mengganggu ekosistem air dan membuat air tersebut tidak layak untuk digunakan kembali dalam kegiatan sehari-hari. Penggunaan kembali air yang tercemar tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia dan lingkungan, sehingga penting untuk memastikan bahwa air yang digunakan bersih dan aman. Selain itu, limbah rumah tangga juga berpotensi mempengaruhi industri dan usaha lainnya. Air yang telah tercemar tidak dapat memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk proses produksi atau kegiatan industri, menghambat kemajuan dan produktivitas. Di sektor pertanian air yang tercemar tidak dapat digunakan untuk irigasi atau penyiraman tanaman karena dapat mengandung senyawa-senyawa anorganik yang dapat merusak kualitas tanah dan tanaman.

Selain dampak langsung terhadap kualitas air, limbah rumah tangga juga dapat menimbulkan masalah bau yang tidak sedap. Limbah organik yang terurai oleh mikroorganisme dapat menghasilkan gas-gas berbau tidak enak, terutama jika limbah tersebut mengandung protein.. Secara keseluruhan, penting untuk memperhatikan penanganan limbah rumah tangga dengan baik untuk mencegah masalah pencemaran air dan lingkungan yang dapat berdampak negatif bagi kesehatan manusia dan ekosistem secara keseluruhan (Widjaja & Gunawan, 2022).

C. Fitoremediasi

1. Pengertian fitoremediasi

Fitoremediasi adalah teknik remediasi biologis yang memanfaatkan tumbuhan dan komunitas mikroba di sekitar akarnya untuk mengurangi,

mengakumulasi, atau menstabilisasi polutan dalam media lingkungan (air, tanah, sedimen). Mekanisme kerja fitoremediasi meliputi beberapa proses utama; (1) fitorisorpsi merupakan proses penyerapan polutan pada permukaan akar dan jaringan tanaman; (2) fitoekstraksi akumulasi adalah penyerapan dan penyimpanan polutan (mis. logam berat) di dalam biomassa tanaman; (3) fitodegradasi, biotransformasi, degradasi atau transformasi senyawa organik oleh enzim tanaman dan mikroorganisme rizosfer; serta (4) fitostabilisasi yang merupakan pengikatan dan imobilisasi polutan di zona akar sehingga mobilitasnya berkurang. Secara operasional, kombinasi proses ini menjadikan fitoremediasi solusi yang efektif untuk menurunkan parameter fisik dan kimia seperti TSS, BOD, COD, nutrien, dan beberapa logam ringan pada air limbah, terutama pada aplikasi skala komunitas atau lahan basah buatan (Sukono *et al.*, 2020).

2. Keunggulan dan keterbatasan fitoremediasi

Keunggulan fitoremediasi meliputi biaya investasi dan operasional yang relatif rendah, kemampuan diaplikasikan in-situ (tanpa penggalian atau pemindahan media), aspek estetika dan pemulihan ekosistem (restoratif), serta minimnya produksi limbah sekunder berbahaya karena prosesnya alami dan bertahap; hal-hal ini membuat fitoremediasi menarik untuk skenario pengolahan limbah rumah tangga dan pemukiman kecil. Namun demikian, keterbatasannya perlu diperhatikan: fitoremediasi umumnya memerlukan waktu lebih lama dibanding teknik fisik-kimia untuk mencapai target mutu, efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi lingkungan (pH, suhu, nutrien, konsentrasi awal polutan), dan tidak semua kontaminan dapat dihilangkan sempurna (misalnya senyawa organik yang sangat persisten atau konsentrasi logam sangat tinggi).

Selain itu, biomassa tanaman yang terkontaminasi menimbulkan tantangan pengelolaan (pemanenan, pembuangan atau pemrosesan ulang), dan pada beberapa kondisi durasi perawatan lama dapat menyebabkan stres tanaman sehingga menurunkan kinerja. Oleh karena itu, perencanaan fitoremediasi memerlukan kajian kesesuaian spesies, estimasi waktu kontak, serta strategi pengelolaan biomassa agar manfaat ekologis dan ekonomisnya maksimal (Ghassani & Titah, 2022).

D. Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solids (TSS) atau padatan tersuspensi total merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas air limbah, termasuk limbah cair rumah tangga. TSS adalah jumlah seluruh partikel padatan yang tidak larut dan melayang di dalam air, terdiri dari bahan organik maupun anorganik seperti sisa makanan, minyak, tanah, dan mikroorganisme. Tingginya kadar TSS akan meningkatkan kekeruhan air, mengurangi penetrasi cahaya matahari, dan menurunkan kadar oksigen terlarut yang sangat dibutuhkan oleh organisme akuatik. Kondisi tersebut dapat memicu terganggunya proses fotosintesis tumbuhan air, kematian biota, serta mempercepat proses sedimentasi di badan air. Menurut penelitian Faradila *et al.*, (2023), kadar TSS pada limbah cair domestik di beberapa kota di Indonesia masih melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016, yaitu 30 mg/L. Hal ini menunjukkan pentingnya pengendalian TSS melalui teknologi pengolahan air limbah yang efektif, salah satunya dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman air seperti eceng gondok yang terbukti mampu menurunkan TSS secara signifikan dalam waktu tertentu.