

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fenomena pertumbuhan populasi global yang berkembang sangat cepat telah memicu tantangan lingkungan yang menyeluruh, terutama terkait penurunan kualitas sumber daya alam di wilayah perkotaan. Data terbaru dari *World Health Organization* (WHO, 2024) menunjukkan bahwa lebih dari 2 miliar orang di seluruh dunia masih hidup di lingkungan dengan sanitasi yang buruk, di mana pencemaran air menjadi ancaman kesehatan yang paling mematikan. WHO melaporkan bahwa polusi air berkontribusi terhadap kematian sekitar 1,4 juta jiwa setiap tahunnya akibat penyakit yang ditularkan melalui air. Hal ini menegaskan bahwa tanpa pengelolaan limbah yang sistematis, ledakan penduduk akan selalu berbanding lurus dengan kerusakan ekosistem perairan (Maliga et al., 2021).

Sejalan dengan isu global tersebut, Indonesia menghadapi tekanan serupa di mana air merupakan kebutuhan utama yang permintaannya meningkat tajam seiring kepadatan penduduk. Peningkatan konsumsi air bersih secara searah berdampak pada lonjakan volume pembuangan air limbah yang jika tidak dikelola secara menyeluruh akan menjadi beban bagi lingkungan. Masalah utama di wilayah perkotaan Indonesia adalah belum tersedianya infrastruktur pengolahan limbah yang sebanding dengan laju pembangunan pemukiman. Akibatnya, badan air sering kali menjadi tempat pembuangan akhir tanpa melalui proses filtrasi atau pemurnian terlebih dahulu (Rustiah et al., 2023).

Definisi air limbah domestik merujuk pada sisa buangan dari aktivitas rumah tangga yang secara garis besar diklasifikasikan menjadi dua kategori utama. Kategori pertama adalah *black water* yang berasal dari buangan toilet, sementara kategori kedua adalah *grey water* atau air kelabu yang berasal dari non-toilet. Fokus utama penelitian ini diarahkan pada *grey water*, yang mencakup sisa air dari kegiatan mandi, mencuci pakaian, wastafel, hingga limbah dapur. Meskipun tidak mengandung tinja, volume

grey water jauh lebih dominan dalam menyumbang pencemaran karena jumlahnya mencapai 60-70% dari total limbah domestik (Kadir, 2022).

Melihat realitas di negara berkembang, kontribusi pencemaran dari sektor domestik terhadap badan air diperkirakan mencapai angka kritis yakni sebesar 85% dari total beban pencemar. Tingginya persentase ini disebabkan oleh kandungan bahan organik yang sangat pekat dalam *grey water* yang dibuang secara terus-menerus. Tanpa adanya sistem pengolahan yang efektif, bahan organik ini akan mengalami dekomposisi di perairan yang memicu ketidakseimbangan kimiawi air. Permasalahan ini semakin sulit karena masyarakat umum cenderung menganggap *grey water* tidak sebahaya *black water*, padahal dampak jangka panjangnya sangat besar. (Rumi et al., 2021).

Keberadaan bahan organik yang tinggi dalam air limbah menjadi sumber nutrisi utama bagi mikroorganisme patogen untuk berkembang biak dengan cepat. WHO (2024) mencatat bahwa paparan terhadap air yang tercemar limbah domestik bertanggung jawab atas tingginya angka kejadian penyakit kulit dan pencernaan di pemukiman padat. Secara klinis, kontaminasi ini memicu dermatitis, iritasi jamur, serta infeksi mata yang kronis. Selain itu, penyakit yang lebih serius seperti diare, disentri, dan tipus sering kali muncul sebagai dampak langsung dari sistem pembuangan air limbah yang menggenang dan tidak mengalir dengan sempurna. Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah ini bersifat menghancurkan dan memengaruhi keberlangsungan biota air secara menyeluruh. Proses penurunan mutu bahan organik oleh bakteri aerobik akan mengonsumsi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) secara besar-besaran, sehingga menciptakan kondisi kekurangan oksigen (Erik et al., 2022).

Kondisi kekurangan oksigen ini mengakibatkan kematian masal pada ikan dan invertebrata, yang pada akhirnya merusak rantai makanan alami. Kehilangan biodiversitas di perairan lokal merupakan indikator nyata bahwa daya dukung lingkungan telah melampaui batas toleransi akibat beban pencemaran organik yang tidak terkendali. Lebih lanjut, kandungan fosfat dan nitrogen yang tinggi dari penggunaan deterjen dan sabun dalam

aktivitas mencuci memicu fenomena eutrofikasi. Eutrofikasi menyebabkan ledakan pertumbuhan alga (*algae bloom*) yang menutupi permukaan air, sehingga menghalangi area sinar matahari yang dibutuhkan oleh tumbuhan bawah air. Ketika alga tersebut mati, proses pembusukannya akan menghasilkan bau busuk yang menyengat dan dapat meracuni ekosistem secara permanen. Selain itu, rembesan *grey water* ke dalam tanah dapat mengubah struktur pH dan mencemari cadangan air tanah yang menjadi sumber air minum warga (Yusal et al., 2025).

Secara teknis, parameter untuk mengukur tingkat konsumsi oksigen oleh mikroorganisme dalam mengurai bahan organik dikenal dengan istilah *Biological Oxygen Demand* (BOD). Kadar BOD yang tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang parah, di mana oksigen dalam air terkuras habis untuk menetralkan limbah. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri LHK No. P.68 Tahun 2016 telah menetapkan ambang batas maksimal BOD sebesar 30 mg/L untuk limbah domestik. Namun, pada kenyataannya, banyak saluran pembuangan di wilayah pemukiman yang memiliki nilai BOD berkali-kali lipat melampaui standar baku mutu yang telah ditetapkan. (Parabang, 2021).

Kesenjangan antara regulasi dan realitas di lapangan diperparah oleh keterbatasan infrastruktur *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) yang membutuhkan biaya investasi sangat mahal. Sistem terpusat sering kali sulit diterapkan pada pemukiman padat atau wilayah dengan susunan tertentu karena kendala teknis dan biaya operasional yang tinggi. Hal ini menuntut adanya inovasi teknologi pengolahan air limbah alternatif yang bersifat tidak terpusat, murah, dan dapat diaplikasikan secara mandiri oleh masyarakat. Tanpa solusi yang praktis, praktik pembuangan limbah secara langsung ke saluran drainase akan terus berlanjut tanpa kendali. (Idrus et al., 2024).

Informasi masalah ini terlihat jelas di Kabupaten Karo, khususnya di Kecamatan Berastagi yang merupakan pusat agribisnis dan pariwisata utama. Peningkatan jumlah hotel, restoran, dan hunian penduduk di wilayah ini secara otomatis meningkatkan volume *grey water* yang dihasilkan

setiap harinya. Sebagai destinasi wisata, kualitas lingkungan di Berastagi seharusnya terjaga, namun beban limbah cair domestik yang tidak terolah menjadi ancaman serius bagi citra dan kesehatan lingkungan wilayah tersebut. Aktivitas domestik yang padat menjadi kontributor utama penurunan kualitas air di saluran-saluran terbuka. Secara lebih spesifik, kondisi kritis ditemukan pada kawasan Kampung Listrik Bawah dan Jalan Listrik Atas, Desa Sempajaya, Kecamatan Berastagi. Di lokasi ini, kepadatan hunian sangat tinggi dengan aktivitas domestik yang intensif seperti mencuci pakaian secara massal, kegiatan dapur dari warung-warung kecil, serta mandi cuci toilet yang pembuangannya bermuara ke selokan yang sama. Karakteristik limbah di wilayah ini didominasi oleh air bekas cucian deterjen dan sisa minyak dapur yang memiliki kandungan organik sangat tinggi. Akibatnya, nilai BOD di wilayah Sempajaya diprediksi jauh di atas ambang batas normal akibat akumulasi limbah harian. (Ramadhan et al., 2023).

Berdasarkan observasi lapangan, saluran drainase di sepanjang Jalan Jamin Ginting, khususnya yang melintasi area Sempajaya, menunjukkan degradasi kualitas fisik yang nyata. Air pada saluran tersebut tampak keruh berwarna keabu-abuan, mengeluarkan aroma tidak sedap yang menyengat, dan terjadi pendangkalan akibat endapan lumut serta alga yang tebal. Fenomena ini mengonfirmasi adanya beban pencemar organik yang sangat tinggi yang berasal dari buangan warga di Kampung Listrik Bawah. Urgensi penerapan teknologi tepat guna menjadi sangat mendesak agar pencemaran ini tidak meresap lebih jauh ke dalam sumber air tanah. Sebagai solusi alternatif, teknologi fitoremediasi muncul sebagai metode "hi-jau" yang paling menjanjikan untuk mengatasi masalah polusi air di skala komunal. Fitoremediasi memanfaatkan kemampuan tanaman akuatik untuk menyerap, mengakumulasi, dan mendegradasi polutan melalui sistem perakaran yang kompleks. Dalam mekanisme ini, tanaman berfungsi sebagai filter biologis yang mengubah polutan organik menjadi nutrisi untuk pertumbuhan tanaman itu sendiri. Metode ini sangat cocok untuk wilayah seperti Berastagi karena biaya pengadaannya murah, estetik, dan proses

perawatannya yang sangat sederhana bagi masyarakat awam (Madariagana-varrete & Fern, 2021).

Dalam penelitian ini, peneliti memilih untuk menguji efektivitas tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) sebagai agen pereduksi polutan. Peneliti menetapkan penggunaan variasi jumlah individu sebanyak 4, 12, dan 16 tanaman untuk melihat efektivitasnya dalam menurunkan beban pencemar. Pada variasi 16 tanaman, peneliti menggunakan total 32 batang tanaman. Karakteristik biologis Melati Air ini memiliki 3 helai daun pada setiap batangnya, sehingga pada unit dengan 16 tanaman terdapat total 48 batang dengan estimasi total 144 lembar daun yang bekerja menyerap polutan. Melati Air dipilih karena kemampuannya yang terbukti efektif dalam menyisihkan kadar organik pada limbah cair industri seperti BOD hingga mencapai efisiensi 97,73% dan COD sebesar 93,88% dengan waktu kontak optimal selama 9 hari (Gusmita et al., 2022).

Tanaman kedua yang menjadi objek perbandingan adalah Genjer (*Limnocharis flava*), yang sering dianggap sebagai gulma namun memiliki potensi besar sebagai agen fitoremediasi melalui sistem hidroponik rakit apung. Dalam penelitian ini, jumlah tanaman Genjer yang digunakan adalah 10 tanaman yang dibagi ke dalam dua perlakuan, yaitu 5 tanaman untuk sistem dengan aerasi dan 5 tanaman untuk sistem tanpa aerasi. Secara fisik, tanaman Genjer yang digunakan memiliki kriteria tinggi batang sekitar 30-40 cm dengan panjang akar berkisar 20-30 cm serta kondisi daun yang segar. Berdasarkan penelitian terdahulu, tanaman Genjer mampu menurunkan kadar BOD pada limbah domestik dengan efisiensi mencapai 96,09% pada sistem aerasi dan 97,68% pada sistem tanpa aerasi dalam waktu kontak 5 hari (Zahra, 2022).

Selain itu, penggunaan tanaman dari famili *Alismataceae* seperti Melati Air dan Genjer sangat direkomendasikan dalam sistem fitoremediasi *grey water*. Kedua tanaman ini diketahui memiliki tingkat adaptasi fisiologis yang tinggi terhadap fluktuasi pH dan paparan surfaktan dari limbah domestik. Keunggulan fisiologis ini memungkinkan keduanya untuk menstimulasi aktivitas mikroorganisme pendegradasi organik secara

lebih progresif dibandingkan gulma air lainnya, sehingga penyerapan polutan dapat berlangsung tanpa menyebabkan kematian massal pada tanaman (Pratiwi et al., 2021)

Meskipun penelitian mengenai kedua tanaman tersebut sudah pernah dilakukan secara terpisah, terdapat kesenjangan data terkait perbandingan efektivitas keduanya secara langsung. Belum ditemukan studi kuantitatif yang membandingkan performa spesifik antara jumlah batang Melati Air dan unit tanaman Genjer pada satu jenis limbah yang sama secara identik. Melalui penelitian kuantitatif ini, diharapkan akan diperoleh data mengenai tanaman mana yang paling optimal dalam menurunkan kadar BOD sesuai baku mutu limbah cair domestik *grey water* di Kampung Listrik Bawah, Berastagi tahun 2026.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana perbandingan efektivitas antara metode fitoremediasi menggunakan tumbuhan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dan Genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan kadar BOD sesuai baku mutu limbah cair domestik *grey water* di Kampung Listrik Bawah Berastagi tahun 2026?

C. Tujuan Penelitian

C.1 Tujuan Umum

Untuk mengetahui perbandingan efektivitas metode fitoremediasi antara tumbuhan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dan Genjer (*Limnocharis flava*) dalam menurunkan kadar BOD sesuai baku mutu limbah cair domestik *grey water* di Kampung Listrik Bawah Berastagi tahun 2026.

C.2 Tujuan Khusus

- a) Untuk mengetahui konsentrasi kadar BOD limbah cair domestik *grey water* sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan menggunakan tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dan Genjer (*Limnocharis flava*)

- b) Untuk menganalisis perbandingan efisiensi penurunan kadar BOD sesuai baku mutu limbah cair domestik *grey water* antara tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dan Genjer (*Limnocharis flava*).

D. Manfaat Penelitian

D.1 Manfaat Terhadap Peneliti

Penelitian ini bermanfaat untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman praktis dalam mengaplikasikan ilmu sanitasi lingkungan, khususnya teknologi fitoremediasi. Selain itu, penelitian ini melatih kemampuan peneliti dalam merancang, melaksanakan, menganalisis data, dan melaporkan hasil penelitian kuantitatif secara ilmiah.

D.2 Manfaat Terhadap Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi alternatif teknologi tepat guna yang sederhana, murah, dan ramah lingkungan bagi masyarakat untuk mengolah limbah cair domestik (*grey water*) skala rumah tangga sebelum dibuang ke lingkungan, dengan memilih tanaman yang paling efektif.

D.3 Manfaat Terhadap Institusi

Penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah dan data dasar (*baseline*) bagi peneliti selanjutnya, khususnya dalam memberikan data komparatif yang jelas mengenai persona antara *Echinodorus palaefolius* dan *Limnocharis flava* sebagai agen fitoremediasi. Bagi institusi pendidikan, hasil ini menambah ilmu pengetahuan di bidang Kesehatan lingkungan.