

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK DENGAN METODE BIOREMEDIASI DI KAWASAN WISATA

Andrew Alexander Panjaitan¹, Hudan Hukiyanto², Krisna Roychan Gionanda³,

Muhammad Fickry Fadrullah⁴, Muhammad Maulana Asshidqi⁵, Muhammad Rizky Ramadhan⁶, Muhammad Reza⁷, Nabilla Nahtu Rizki⁸, Nova Srikandi⁹,

Widya Dwi Utami¹⁰

¹⁻¹⁰Universitas Sahid, Jakarta, Indonesia

Email Korespondensi: 2022330003@usahid.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair domestik di kawasan wisata sering menjadi permasalahan lingkungan akibat tingginya aktivitas wisatawan. Pengolahan limbah yang tidak efektif dapat mencemari sumber air dan mengganggu ekosistem sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode bioremediasi dalam mengolah limbah cair domestik di kawasan wisata. Bioremediasi merupakan teknik pemanfaatan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan dalam air limbah. Melalui proses bioremediasi dapat mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun dalam kondisi terkendali. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aplikasi pemanfaatan tanaman eceng gondok (*Eichorma crassipe*) dan *B. megaterium* untuk menurunkan kandungan logam Cr dan kandungan bahan organik (BOD, COD, pH, dan suhu) terhadap limbah domestik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan *Bacillus megaterium* terbukti mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan logam berat kromium (Cr) secara signifikan hingga mendekati atau memenuhi baku mutu air limbah. Dengan demikian, bioremediasi dapat menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair domestik di kawasan wisata.

Kata kunci: Bioremediasi, Limbah Cair Domestik, Kawasan Wisata, Kualitas Air, Pencemaran Lingkungan.

ABSTRACT

*Domestic wastewater in tourist areas often becomes an environmental issue due to high tourist activity. Ineffective waste treatment can contaminate water sources and disrupt surrounding ecosystems. This study aims to analyze the effectiveness of bioremediation methods in treating domestic wastewater in tourist areas. Bioremediation is a technique that utilizes microorganisms to degrade pollutants in wastewater. Through the bioremediation process, contaminants can be broken down into less toxic substances under controlled conditions. The methods used in this study include the application of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and *Bacillus megaterium* to reduce chromium (Cr) levels and organic content (BOD, COD, pH, and temperature) in domestic wastewater. The research results show that the combination of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and *Bacillus megaterium* effectively reduces BOD, COD, and heavy metal chromium (Cr) concentrations significantly, approaching or meeting wastewater quality standards. Thus, bioremediation can serve as an environmentally friendly alternative solution for treating domestic wastewater in tourist areas.*

Keywords: Bioremediation, Domestic Wastewater, Tourist Areas, Water Quality, Environmental Pollution.

PENDAHULUAN

Air limbah domestik didefinisikan sebagai air buangan dari berbagai aktivitas rumah tangga dan fasilitas umum yang meliputi closet, kamar mandi, tempat cuci, dan dapur (Safriani & Silvia, 2018). Limbah ini secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu *grey water* (air limbah dari kamar mandi dan dapur) serta *black water* (air buangan yang mengandung tinja dan urin). *Black water* memiliki kandungan bakteri patogen serta senyawa nitrogen dan fosfor yang dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan baik (Nanga, 2017). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair domestik menjadi langkah penting untuk mencegah pencemaran air tanah, sungai, dan ekosistem perairan. Limbah domestik memiliki karakteristik yang kerap ditemui berupa tingginya kandungan detergen, sabun, nitrogen, bahan organik (BOD dan COD), serta logam kromium. Tentunya beberapa limbah tersebut membahayakan lingkungan, terlebih adalah kandungan logam yang melebihi ambang batas seperti kromium heksavalen merupakan jenis berbahaya dan beracun (B3). Logam Cr dapat berakibat pada kerusakan ekosistem perairan dan kualitas air yang akan berdampak pada buruknya kualitas hidup masyarakat akibat mengkonsumsi biota air yang berasal dari perairan laut (Andharani dan Yusuf, 2019).

Salah satu sektor yang menghasilkan limbah domestik dalam jumlah besar adalah kawasan wisata. Pembangunan fasilitas pariwisata, seperti hotel, restoran, dan tempat rekreasi, memberikan dampak positif berupa peningkatan ekonomi dan kesempatan kerja. Namun, di sisi lain, hal ini juga memicu peningkatan produksi limbah cair yang dapat mencemari badan air di sekitar kawasan wisata. Pembuangan limbah cair tanpa pengolahan yang sesuai standar dapat menyebabkan eutrofikasi perairan, peningkatan kandungan zat beracun, serta gangguan kesehatan bagi masyarakat dan wisatawan. Untuk mengatasi permasalahan ini, limbah cair domestik harus melalui instalasi pengolahan air limbah (IPAL) agar memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air atau digunakan kembali untuk keperluan lain (Azhari 2023). Secara alami, limbah dapat mengalami proses pemurnian oleh mikroorganisme yang ada di lingkungan. Namun, jika volume limbah melebihi kapasitas lingkungan, maka proses ini menjadi tidak optimal karena terjadinya defisit oksigen akibat tingginya bahan organik dalam air limbah (Suardana, 2023).

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair domestik adalah bioremediasi, yaitu pemanfaatan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan dalam air limbah. Melalui proses bioremediasi dapat mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun dalam kondisi terkendali. Dari rangkaian diatas maka akan dilakukan penelitian aplikasi pemanfaatan tanaman eceng gondok (*Eichorma crassipe*) dan *B. megaterium* untuk menurunkan kandungan logam Cr dan kandungan bahan organik (BOD, COD, pH, dan suhu) terhadap limbah domestik. Metode bioremediasi menjadi alternatif yang efektif karena bekerja secara alami dengan memanfaatkan mikroba pengurai untuk menurunkan kandungan pencemar dalam air limbah. Selain itu, metode ini lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan dengan metode kimiawi yang membutuhkan bahan kimia dalam jumlah besar (Andharani dan Yusuf, 2019). Dengan penerapan bioremediasi yang tepat, kualitas air limbah domestik dapat ditingkatkan sehingga memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, serta dapat didaur ulang untuk keperluan operasional di kawasan wisata.

Melihat pentingnya pengolahan limbah cair domestik, khususnya di kawasan wisata yang memiliki tekanan lingkungan tinggi, maka perlu dikaji lebih lanjut efektivitas metode bioremediasi menggunakan eceng gondok (*Eichorma crassipe*) dan *Bacillus megaterium* dalam menurunkan pencemaran air limbah domestik terutama bahan organik dan logam kromium (Cr) pada air limbah laut agar tidak merusak keseimbangan ekosistem laut.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan mengacu pada Stefhaney et al. (2013) dan Ni'ma et al. (2014) yang dimodifikasi, terdapat 4 perlakuan uji coba dengan 3 kali ulangan diantaranya, (P1) limbah domestik tanpa proses bioremediasi sebagai kontrol, (P2) eceng gondok dengan kerapatan 100g dan media *B. megaterium*, (P3) eceng gondok dengan kerapatan 200 g dan media *B. megaterium* (P4) eceng gondok dengan kerapatan 300 g dan media *B. megaterium*. Pengumpulan data penurunan kandungan logam Cr setiap 5 hari sekali selama 15 hari yaitu hari ke 0, 5, 10, dan 15 pada setiap perlakuan setiap ulangan, sedangkan pengukuran COD dan BOD dilakukan di hari ke-0 dan hari ke-15. Pengukuran parameter pendukung seperti suhu, salinitas, pH. dilakukan setiap 2 hari sekali. Sebelum uji coba ,dilakukan, eceng gondok dilakukan treatment terlebih dahulu yaitu perlakuan bebas bakteri aktif menggunakan hydrogen peroksida (H₂O₂ 3%) untuk pencucian akar atau serabut pada eceng gondok. Pencucian dengan H₂O₂ 3% ini dimaksudkan untuk membersihkan kelompok mikroba rhizosfer pada akar tanpa merusak jaringan tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik limbah cair kawasan wisata

Sifat air limbah bergantung pada penggunaan air di masyarakat atau usaha, industri, cuaca dan filtrasi aliran masuk (Tchobanoglous 2003). Limbah cair dari kawasan wisata memiliki karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang kompleks. Karakteristik ini dipengaruhi oleh jenis aktivitas masyarakat dan fasilitas komersial seperti hotel, restoran, dan tempat rekreasi. Secara umum, air limbah dari kawasan wisata serupa dengan limbah domestik, namun volume dan konsentrasi pencemar cenderung lebih tinggi dan bervariasi, tergantung pada musim wisata, jumlah wisatawan, dan jenis fasilitas.

Karakteristik Fisika Limbah Domestik

Bau

Bau pada limbah cair domestik berasal dari senyawa volatil seperti hidrogen sulfida (bau telur busuk), amonia (bau menyengat), serta asam organik yang terbentuk akibat dekomposisi bahan organik dalam kondisi anaerob. Faktor yang mempengaruhi bau meliputi kandungan organik, kondisi aerasi, pH, dan suhu. Bau ini dapat mengganggu kenyamanan serta menimbulkan dampak kesehatan seperti mual dan iritasi pernapasan. Pengendaliannya dapat dilakukan melalui aerasi, pengolahan limbah yang efektif, serta penggunaan bahan penyerap bau seperti karbon aktif atau biofilter.

Warna

Warna pada limbah cair merupakan indikator kandungan zat organik dan anorganik di dalamnya, yang dapat berasal dari sisa makanan, deterjen, senyawa logam, atau bahan kimia lainnya. Limbah cair domestik umumnya berwarna keabu-abuan hingga kecoklatan, tergantung pada tingkat pencemarannya. Warna gelap menunjukkan tingginya kandungan bahan organik dan proses dekomposisi anaerob, sementara warna kemerah atau kekuningan dapat mengindikasikan keberadaan logam seperti besi atau mangan. Warna dapat diukur menggunakan parameter seperti *True Color* dan *Apparent Color*, yang menunjukkan tingkat pencemaran. Pengolahan seperti filtrasi, koagulasi, atau bioremediasi diperlukan untuk mengurangi dampak warna pada lingkungan perairan.

Total Suspended Solid (TSS)

Adalah ukuran jumlah partikel padatan tersuspensi dalam air atau limbah cair yang tidak larut dan dapat disaring menggunakan kertas saring tertentu. TSS terdiri dari partikel organik maupun anorganik seperti lumpur, pasir, sisa makanan, dan mikroorganisme. Konsentrasi TSS yang tinggi dalam limbah dapat menyebabkan kekeruhan, menghambat penetrasi cahaya di perairan, serta mengganggu kehidupan akuatik. TSS juga berperan dalam meningkatkan kebutuhan oksigen biokimia (BOD) karena partikel organik yang terlarut dapat mengalami dekomposisi. Pengukuran TSS dilakukan dengan menyaring sampel air, mengeringkan padatan yang tertahan di filter, lalu menimbang residu yang tersisa. Pengolahan limbah untuk mengurangi TSS dapat dilakukan dengan proses sedimentasi, filtrasi, atau koagulasi-flokulasi untuk memastikan kualitas air lebih baik sebelum dibuang ke lingkungan.

Kekeruhan

Kekeruhan adalah tingkat kejernihan air yang dipengaruhi oleh adanya partikel tersuspensi seperti lumpur, tanah liat, sisa organik, mikroorganisme, dan zat terlarut lainnya. Kekeruhan diukur dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) menggunakan alat turbidimeter yang mendeteksi penyebaran cahaya oleh partikel dalam air. Kekeruhan tinggi pada limbah cair dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air, mengurangi fotosintesis organisme akuatik, serta menjadi indikator tingginya kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) dan polutan lainnya. Selain itu, kekeruhan juga dapat menunjukkan potensi kontaminasi mikroba patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Untuk mengurangi kekeruhan, metode pengolahan seperti sedimentasi, filtrasi, dan koagulasi-flokulasi digunakan dalam proses pengolahan air dan limbah.

Temperatur

Parameter penting dalam limbah cair yang mempengaruhi proses biologis, kimia, dan fisika di dalam air. Suhu limbah yang terlalu tinggi dapat mengurangi kadar oksigen terlarut (DO), mengganggu kehidupan organisme akuatik, serta mempercepat reaksi kimia yang menghasilkan senyawa berbahaya. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi. Sumber utama peningkatan suhu pada limbah cair berasal dari industri, air limbah rumah tangga, dan pembangkit listrik. Pengukuran suhu biasanya dilakukan dengan termometer atau sensor suhu, dan pengandalianya dapat dilakukan dengan sistem pendinginan atau pencampuran dengan air bersuhu normal sebelum dibuang ke lingkungan agar dampaknya dapat diminimalkan.

Konduktivitas

Kemampuan air atau limbah cair dalam menghantarkan arus listrik, yang bergantung pada jumlah ion terlarut seperti garam, mineral, dan logam. Satuan konduktivitas diukur dalam *microSiemens per centimeter* ($\mu\text{S}/\text{cm}$) atau *milliSiemens per centimeter* (mS/cm) menggunakan konduktometer. Semakin tinggi kandungan ion dalam air, semakin besar konduktivitasnya, yang sering menjadi indikator pencemaran akibat limbah domestik, industri, atau pertanian. Konduktivitas yang tinggi dapat mengganggu ekosistem perairan dan menunjukkan adanya polutan seperti logam berat atau senyawa anorganik. Untuk menurunkan konduktivitas, dapat dilakukan proses pengolahan seperti demineralisasi, filtrasi, atau elektrodialisis sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

Karakteristik kimia limbah domestik (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik dalam air atau limbah cair selama proses biologis. BOD diukur dalam satuan mg/L dan umumnya diuji dalam waktu 5 hari pada suhu 20°C (BOD₅). Semakin tinggi nilai BOD, semakin besar kandungan bahan organik dalam limbah, yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut (DO) di perairan, mengganggu kehidupan akuatik, dan mempercepat eutrofikasi. Sumber utama BOD berasal dari limbah domestik, industri makanan, dan pertanian. Untuk menurunkan BOD, pengolahan limbah dilakukan melalui proses aerasi, pengolahan biologis dengan bakteri pengurai, serta sistem sedimentasi dan filtrasi sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air atau limbah cair menggunakan agen kimia seperti kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). COD diukur dalam mg/L dan biasanya lebih tinggi daripada Biochemical Oxygen Demand (BOD) karena COD mencakup semua senyawa organik, termasuk yang sulit terurai secara biologis. Nilai COD yang tinggi menunjukkan tingginya tingkat pencemaran yang dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut (DO) di perairan, mengganggu ekosistem, dan berpotensi membahayakan organisme akuatik. Sumber utama COD berasal dari limbah domestik, industri tekstil, farmasi, serta pabrik makanan dan minuman. Pengolahan COD dapat dilakukan dengan metode biologis seperti lumpur aktif, metode kimia seperti koagulasi-flokulasi, serta metode fisik seperti filtrasi dan adsorpsi dengan karbon aktif

Minyak dan Lemak

Minyak dan Lemak dalam Limbah Cair adalah salah satu parameter pencemar yang berasal dari limbah domestik (seperti sisa makanan dan minyak goreng) serta industri (seperti pengolahan makanan, perminyakan, dan tekstil). Minyak dalam air dapat berbentuk terlarut, tersebar (emulsi), atau mengapung di permukaan, tergantung pada sifat fisika kimianya. Keberadaan minyak dalam limbah dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dengan membentuk lapisan di permukaan air, mengurangi kadar oksigen terlarut (DO), serta menghambat penetrasi cahaya bagi organisme akuatik. Pengukuran kadar minyak dalam limbah biasanya dilakukan dengan metode Gravimetri atau Ekstraksi dengan pelarut organik. Untuk mengurangi kandungan minyak dalam limbah, metode pengolahan seperti pemisahan gravitasi, flotasi, koagulasi-flokulasi, dan bioremediasi dengan mikroorganisme sering digunakan sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen (DO) atau oksigen terlarut adalah jumlah oksigen yang tersedia dalam air untuk mendukung kehidupan organisme akuatik. DO diukur dalam satuan mg/L atau ppm (parts per million) menggunakan oksimeter atau metode titrasi Winkler. Kadar DO yang cukup (di atas 5 mg/L) penting untuk kelangsungan ikan dan mikroorganisme aerob, sedangkan kadar rendah (<3 mg/L) dapat menyebabkan kondisi anaerob yang memicu kematian biota air dan pelepasan gas beracun seperti hidrogen sulfida (H_2S). Faktor yang mempengaruhi DO meliputi suhu, arus air, aktivitas mikroorganisme, serta tingkat pencemaran bahan organik. Limbah dengan BOD dan COD tinggi dapat mengurangi DO karena mikroorganisme menggunakan oksigen untuk menguraikan bahan pencemar. Pengelolaan DO dalam air limbah dilakukan dengan proses aerasi, biofiltrasi, atau pengurangan bahan organik sebelum dibuang ke lingkungan.

pH

pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan, termasuk limbah cair, yang dinyatakan dalam skala 0–14, di mana pH 7 bersifat netral, <7 bersifat asam, dan >7 bersifat basa. Nilai pH limbah dipengaruhi oleh kandungan bahan kimia seperti asam, basa, logam berat, dan senyawa organik. Limbah domestik umumnya memiliki pH 6–8, sedangkan limbah industri dapat lebih ekstrim, tergantung pada proses yang digunakan. pH yang terlalu asam atau basa dapat merusak ekosistem perairan, mengganggu aktivitas mikroorganisme dalam proses pengolahan biologis, serta meningkatkan korosifitas pada sistem perpipaan. Pengukuran pH dilakukan dengan pH meter atau indikator kertas lakmus, dan pengendaliannya dapat dilakukan dengan menambahkan agen penyangga (buffer), neutralisasi dengan asam atau basa, serta metode koagulasi untuk menstabilkan kondisi limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Karakteristik biologi limbah domestik mikroorganisme, bakteri, fungi, alga

Bakteri dengan kemampuan mendegradasi senyawa kimia tertentu merupakan mikroorganisme yang memiliki mekanisme enzimatik yang kompleks dan unik untuk memecah molekul-molekul kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Bakteri ini memiliki sistem metabolisme yang dapat mengubah struktur kimiawi senyawa berbahaya seperti hidrokarbon, pestisida, dan bahan kimia lainnya menjadi komponen yang kurang toksik atau bahkan tidak berbahaya sama sekali. Kemampuan ini terjadi melalui proses metabolisme sekunder dimana bakteri menghasilkan enzim-enzim spesifik yang mampu memutus ikatan kimia dalam senyawa target. Beberapa bakteri yang digunakan dalam proses bioremediasi yaitu:

1. *Pseudomonas aeruginosa* merupakan bakteri yang sangat efektif dalam mendegradasi hidrokarbon dan senyawa aromatik. Memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi pada lingkungan tercemar, Bakteri ini menghasilkan biosurfaktan yang membantu memecah molekul-molekul kompleks menjadi bagian yang lebih kecil dan mudah dicerna. Bakteri ini mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem dan memiliki spektrum degradasi yang luas.
2. *Bacillus subtilis* merupakan bakteri tanah yang memiliki kemampuan mendegradasi pestisida dan senyawa organik kompleks. Bakteri ini memiliki keunggulan dalam membentuk spora, sehingga dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Bakteri ini dapat menghasilkan enzim protease, lipase, dan amilase yang berperan penting dalam proses pemecahan senyawa organik.

3. *Rhodococcus erythropolis* ini dikenal sangat efektif dalam mendegradasi hidrokarbon alifatik dan aromatik. Memiliki kemampuan metabolisme yang unik, bakteri ini dapat mengubah senyawa hidrokarbon menjadi biomassa atau CO₂ melalui jalur metabolisme khusus. Bakteri ini umumnya digunakan dalam bioremediasi tanah dan perairan yang tercemar minyak.

Fungi merupakan mikroorganisme eukariotik yang memiliki kemampuan luar biasa dalam mendegradasi senyawa organik kompleks seperti lignin, selulosa, dan karbohidrat. Mereka berperan penting dalam proses dekomposisi materi organik di lingkungan, termasuk dalam pengelolaan limbah domestik. Fungi mampu menghasilkan enzim ekstraseluler seperti ligninase, selulase, dan hemiselulase yang membantu mereka memecah molekul kompleks menjadi senyawa sederhana. Beberapa spesies fungi yang digunakan dalam proses bioremediasi yaitu:

1. *Aspergillus sp* yaitu mikroorganisme yang dapat tumbuh pada berbagai kondisi lingkungan dengan toleransi pH dan suhu yang berbeda-beda. Kemampuan utamanya terletak pada produksi enzim selulase dan amilase yang sangat efektif dalam mendegradasi serat organik, menjadikannya salah satu dekomposer paling potensial dalam proses penguraian limbah domestik.
2. *Trichoderma sp* dikenal sebagai fungi tanah yang memiliki karakteristik unik dalam proses dekomposisi. Selain kemampuannya menghasilkan enzim selulolitik dan lignolitik berkualitas tinggi, genus ini juga memiliki sifat antagonis terhadap fungi patogen. Keunggulan *Trichoderma sp* terletak pada kemampuan adaptasinya yang luar biasa, mampu hidup dan berkembang pada berbagai kondisi lingkungan dengan toleransi yang tinggi.
3. *Phanerochaete chrysosporium* merupakan fungi ligninolitik tipe *white-rot* yang paling terkenal dalam dunia mikrobiologi lingkungan. Spesies ini memiliki kemampuan luar biasa dalam mendegradasi lignin, senyawa kompleks yang sulit terurai. Melalui enzim lignin peroksidase dan mangan peroksidase, *Phanerochaete chrysosporium* mampu merombak senyawa aromatik kompleks yang terdapat dalam limbah kayu dan pertanian. Kemampuan uniknya dalam mendegradasi senyawa lignin menjadikannya salah satu mikroorganisme paling penting dalam daur ulang karbon di ekosistem.

Alga adalah mikroorganisme fotosintesis yang memiliki kemampuan unik dalam memperbaiki kualitas air melalui proses bioremediasi. Organisme ini mampu menyerap nutrisi berlebih seperti nitrogen dan fosfor yang umumnya terdapat dalam limbah domestik, serta menghilangkan senyawa kimia berbahaya melalui mekanisme metabolisme sel. Proses penyerapan nutrisi ini tidak hanya membersihkan air, tetapi juga mencegah eutrofikasi pada ekosistem perairan. Alga dapat mengkonversi senyawa pencemar menjadi biomassa yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut, seperti untuk produksi biofuel atau pakan ternak. Beberapa spesies alga yang digunakan dalam proses bioremediasi yaitu:

1. *Chlorella vulgaris* merupakan alga hijau berukuran mikroskopis yang sangat efektif dalam mereduksi nutrien anorganik. Spesies ini memiliki kemampuan tinggi menyerap nitrogen dan fosfor, serta mampu menurunkan konsentrasi logam berat dalam air limbah. *Chlorella* dapat tumbuh dengan cepat dan memiliki sel yang kaya protein, sehingga tidak hanya berfungsi membersihkan air, tetapi juga berpotensi sebagai sumber nutrisi alternatif.
2. *Dunaliella salina* adalah alga yang hidup di lingkungan hipersalin dan memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi ekstrem. Spesies ini unggul dalam menyerap

nutrien berlebih dan mampu mengakumulasi senyawa antioksidan beta-karoten. Kemampuan adaptasinya yang luar biasa membuatnya sangat berguna dalam proses bioremediasi di perairan dengan salinitas tinggi.

3. *Spirulina sp* memiliki kapasitas signifikan dalam mendegradasi senyawa organik kompleks. Organisme ini dapat mentolerir berbagai kondisi lingkungan dan efektif menurunkan kandungan nitrat dan fosfat dalam air limbah. Selain itu, Spirulina memiliki kandungan protein tinggi dan bernilai nutrisi superior, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai suplemen makanan setelah proses bioremediasi.

Dampak Pembuangan Limbah Domestik tanpa pengolahan

Pembuangan limbah cair domestik tanpa pengolahan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, terutama di kawasan wisata yang sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan. Pembuangan limbah domestik tanpa pengolahan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat, antara lain:

- a. Dampak lingkungan
 1. Pencemaran Air: Limbah domestik mengandung bahan organik, detergen, dan zat berbahaya yang dapat mencemari badan air. Ini dapat merusak ekosistem perairan, membunuh ikan, dan mengurangi keanekaragaman hayati.
 2. Pencemaran Tanah: Limbah yang dibuang sembarangan dapat meresap ke dalam tanah, mencemari sumber air tanah dan mengganggu kesuburan tanah serta pertanian.
 3. Eutrofikasi: Kandungan nutrien tinggi seperti nitrogen dan fosfat dalam limbah dapat memicu pertumbuhan alga secara berlebihan, menurunkan kadar oksigen terlarut, dan menyebabkan kematian ikan.
- b. Dampak terhadap kesehatan masyarakat
 1. Limbah cair domestik yang tidak diolah mengandung patogen seperti bakteri, virus, dan parasit penyebab penyakit.
 2. Beberapa penyakit yang umum ditularkan melalui air tercemar antara lain:
 - Kolera
 - Tifus
 - Hepatitis A
 - Diare
 - Filariasis (kaki gajah)
- c. Dampak Sosial dan Ekonomi
 1. Menurunnya kenyamanan kawasan wisata akibat bau menyengat dan air tercemar, yang dapat menurunkan jumlah wisatawan.
 2. Kerugian ekonomi, seperti:
 - Penurunan kualitas produk perikanan.
 - Biaya pengobatan bagi masyarakat terdampak.
 - Biaya perbaikan atau pemulihan lingkungan

Penggunaan bioremediasi dalam pengolahan limbah cair

Bioremediasi adalah proses pemanfaatan mikroorganisme tertentu yang telah dipilih untuk berkembang pada polutan spesifik dengan tujuan mengurangi kadar polutan tersebut. Selama proses ini berlangsung, enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme akan mengubah struktur polutan beracun menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga menghasilkan metabolit yang tidak berbahaya. Dalam kaitannya dengan bioremediasi, Pemerintah Indonesia telah menetapkan regulasi yang mengatur standar dan prosedur bioremediasi untuk menangani dampak lingkungan akibat aktivitas pertambangan, perminyakan, serta pencemaran lain seperti logam berat dan pestisida. Regulasi ini tertuang dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003, yang mengatur tata cara serta persyaratan teknis dalam pengelolaan limbah minyak bumi dan tanah yang terkontaminasi secara biologis, dengan ketentuan bahwa bioremediasi harus dilakukan menggunakan mikroorganisme lokal.

Bioremediasi limbah minyak di Kawasan Wisata, terutama yang memiliki fasilitas restoran dan perhotelan dapat menghasilkan limbah cair yang memiliki karakteristik seperti tinggi kandungan minyak dan lemak dari proses memasak, beragam bahan organik dari sisa makanan, deterjen dan bahan pembersih kimia dari proses pencucian peralatan dan juga variasi volume limbah pada musim tertentu. Beberapa jenis mikroorganisme bakteri yang digunakan untuk bioremediasi lemak dan minyak seperti *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Rhodococcus* digunakan untuk menguraikan minyak di laut atau di tanah. Bakteri ini dapat memecah lemak dan minyak menjadi senyawa yang lebih sederhana dan lebih ramah terhadap lingkungan.

Untuk mengoptimalkan kinerja mikroorganisme, diperlukan nutrien pendukung untuk digunakan dalam proses bioremediasi. Klasifikasi nutrien dalam bioremediasi yaitu:

1. Nutrien makro
 - a. Nitrogen (N) memiliki fungsi utama untuk pembentukan protein struktural mikroorganisme dan mendukung sintesis enzim pendegradasi. Mekanisme kerja pada nutrien ini yaitu membantu pertumbuhan populasi mikroba dan meningkatkan kapasitas metabolisme sel. Sumber potensialnya terdapat pada Urea, Amonium sulfat, ekstrak kedelai dan tepung ikan.
 - b. Fosfor (P) memiliki fungsi utama sebagai pembentukan ATP, komponen asam nukleat dan sebagai aktivator enzim. Mekanisme kerja pada nutrien ini yaitu mendukung transfer energi sel dan menstimulasi reproduksi mikroorganisme. Sumber potensialnya terdapat pada Kalium fosfat, Asam fosfat dan Pupuk NPK.
 - c. Kalium (K) memiliki fungsi utama untuk meregulasi tekanan osmotik sel, aktivasi enzim dan transportasi nutrisi. Mekanisme kerja pada nutrien ini yaitu untuk menjaga keseimbangan metabolisme dan meningkatkan ketahanan mikroba. Sumber potensialnya terdapat pada Kalium klorida dan Kalium nitrat.
2. Nutrien mikro
 - a. Besi (Fe) memiliki fungsi sebagai katalis reaksi enzimatik, pembentukan sitokrom dan transfer elektron.
 - b. Magnesium (Mg) memiliki fungsi sebagai aktivator enzim, stabilisasi struktur ribosom dan sintesis klorofil pada mikroba fotosintetik.
 - c. Seng (Zn) memiliki fungsi sebagai komponen struktural enzim, pendukung metabolisme karbohidrat dan pembelahan sel.

Efektivitas Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichorma crassipe*) dan *Bacillus megaterium* sebagai Bioremediator Bahan Organik dan Logam Kromium (Cr) pada Limbah laut Muncar Banyuwangi

Limbah cair domestik yang memiliki kandungan bahan organik tinggi akan menunjukkan nilai BOD dan COD yang tinggi (Doraja, et al, 2012). Jumlah bahan organik yang terdekomposisi dapat dilihat melalui perubahan nilai BOD dan COD. Hasil penelitian yang berlangsung selama lima belas hari menunjukkan bahwa air limbah domestik memiliki nilai awal BOD dan COD yang lebih tinggi. Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu air limbah yang dibuang ke badan perairan ditetapkan dengan pH antara 6-9; BOD kurang dari 12 mg/L, dan COD kurang dari 100 mg/L. Nilai BOD dan COD yang tinggi pada limbah domestik ini mengindikasikan adanya tingkat pencemaran yang signifikan dan kandungan oksigen yang rendah, yaitu sekitar 2-3 mg/L. Penelitian berlangsung selama 15 hari, sebelum perlakuan dimulai dilakukan uji terlebih dahulu terhadap konsentrasi kualitas air diantaranya BOD, COD, DO, pH, suhu, dan salinitas. Bahwasannya nilai BOD dan COD yang didapat memiliki konsentrasi yang tinggi sehingga melebihi ambang batas yang telah ditetapkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 terkait pengolahan kualitas air dan pengendalian air yakni nilai BOD lebih dari 12 mg/L dan nilai COD lebih dari 100 mg/L.

Parameter lain seperti suhu, pH, dan salinitas juga turut diperhitungkan. Beberapa di antaranya dianalisis kandungannya dan disesuaikan dengan ketentuan dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas air limbah di Kecamatan Kabat dapat ditingkatkan secara optimal melalui penerapan eceng gondok dan *Bacillus megaterium* dalam proses bioremediasi. Berdasarkan rangkaian tersebut, berikut adalah hasil uji yang diperoleh selama penelitian berlangsung. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.

Hasil pengukuran BOD pada limbah domestik dengan perlakuan kombinasi bakteri dan eceng gondok dengan berat berbeda menunjukkan variasi hasil. Pengamatan dari hari pertama (H1) hingga hari ke-15 (H15) menunjukkan bahwa rata-rata nilai BOD terendah tercatat pada perlakuan P3, yaitu 5,025 ppm pada hari ke-12. Sementara itu, nilai rata-rata BOD tertinggi ditemukan pada perlakuan P2, yaitu 12,38 ppm pada hari ketiga.

Berdasarkan analisis statistik terhadap rata-rata nilai BOD dan durasi pengamatan, diperoleh hasil bahwa Fhitung lebih besar dari Ftabel. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap penurunan konsentrasi BOD pada masing-masing perlakuan menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perlakuan dengan *Bacillus megaterium* dan eceng gondok dengan variasi kerapatan yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap nilai BOD. Selain itu, perlakuan ini menghasilkan nilai BOD terendah pada akhir pengamatan, yang membuktikan bahwa semakin lama waktu pengolahan, kombinasi *Bacillus megaterium* dan eceng gondok lebih efektif dalam menurunkan nilai BOD dibandingkan dengan penggunaan *Bacillus megaterium* saja. Penelitian yang dilakukan oleh Stefhani et al. (2013) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menurunkan nilai BOD hingga mencapai standar baku mutu air limbah dalam waktu 20 hari. Temuan ini didukung oleh riset Ayu dan Shovitri (2013), yang menyatakan bahwa aplikasi *Bacillus* sp. efektif dalam mendegradasi bahan organik.

Hasil pengukuran COD limbah cair domestik pada perlakuan bakteri dan enceng gondok dengan berat berbeda memperlihatkan hasil yang bervariasi. Pengamatan hari pertama sampai dengan hari ke lima belas memperlihatkan rata-rata COD terendah dihasilkan pada perlakuan bakteri dengan eceng gondok seberat 300 gr yaitu 48,525 ppm

pada hari ke lima belas sedangkan nilai rata-rata COD yang paling tinggi dihasilkan pada perlakuan bakteri saja yaitu 383,2 ppm pada hari ketiga. Hasil pengamatan COD limbah cair domestik dengan perlakuan yang berbeda yang dilakukan selama pengamatan lima belas hari.

Berdasarkan analisis statistik terhadap nilai rataan COD dan lama waktu pengamatan, didapatkan hasil bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan pada setiap perlakuan dalam waktu menurunkan kandungan bahan organik pada limbah cair domestik. Perlakuan *Bacillus megaterium* dengan eceng gondok dengan kerapatan yang berbeda merupakan perlakuan yang memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai COD. Perlakuan ini juga memiliki nilai COD terendah pada akhir pengamatan, hal ini membuktikan bahwa semakin lama waktu dan semakin banyak kerapatan maka perlakuan *Bacillus megaterium* dengan eceng gondok memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menurunkan nilai COD bila dibandingkan dengan menggunakan *Bacillus megaterium* saja. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ratnani, 2012) menyatakan bahwa tumbuhan eceng gondok dapat menurunkan nilai COD sebesar 433 ppm dalam jangka waktu 22 hari. di dukung hasil riset (Ayu & Shovitri, 2013) menegaskan bahwa aplikasi *Bacillus sp* mampu mendegradasi bahan organik

Kromium (Cr) adalah salah satu logam berat yang dapat mencemari air. Keberadaan Cr di perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat akibat terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis. Kromium dapat menumpuk dalam tubuh dan bersifat kronis yang akhirnya mengakibatkan kematian organisme akuatik. Sifat toksik yang dibawa oleh logam ini adalah keracunan akut dan keracunan kronis. Keberadaan Cr di lingkungan perairan tentu akan berdampak besar bagi lingkungan sekitar, maka pada penelitian ini pemanfaatan eceng gondok dan mikroorganisme (*B. megaterium*) sebagai bioremediator dalam proses fitoremediasi tentu menghasilkan dampak positif yang dihasilkan, berikut adalah hasil analisis kandungan Cr dalam skala laboratorium.

Perlakuan kontrol menghasilkan konsentrasi yang tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan P4 (*B. megaterium* dan 400 gr eceng gondok) menghasilkan konsentrasi terendah dibandingkan perlakuan lainnya yakni sebesar 0.048 mg/L. Berdasarkan analisis statistik terhadap nilai rataan logam Cr dan lama waktu pengamatan, didapatkan hasil bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan pada setiap perlakuan dalam waktu menurunkan kandungan bahan organik pada limbah cair domestik. Seluruh perlakuan selain kontrol merupakan perlakuan yang memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai kromium. Menurut standar baku mutu PP. Tahun 2001 bahwa kondisi perairan yang aman memiliki kandungan Cr < 0.005 mg/L, hal ini menunjukkan treatment pada P4 hingga hari H5 menghasilkan konsentrasi sebesar 0.048 mg/L. Eceng gondok mampu mengikat bahan organik dari partikel lumpur di suatu perairan sehingga dapat digunakan untuk menjernihkan air, manfaat lainnya adalah sebagai stabilisator suatu perairan karena kemampuannya menetralisir bahan pencemar di perairan. Melalui akarnya yang lebat, bahan pencemar (Cr) diserap melalui akar, batang dan daunnya untuk kepentingan metabolisme. Parameter pendukung

Parameter pendukung penelitian pengolahan limbah cair domestik ini meliputi; suhu, pH, salinitas, dan DO. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan selama lima belas hari didapatkan nilai yang bervariasi. Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap metabolisme organisme perairan. Pengukuran nilai suhu dilakukan pada waktu sore hari setiap 3 hari sekali selama pengamatan. Suhu

pada pengamatan memiliki kisaran sebesar 23,75 – 24,25 C. Dari nilai rataan suhu selama pengamatan, terdapat perbedaan nilai suhu selama pengamatan yang dinilai masih dalam batas normal menurut Peraturan Pemerintah NO. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Derajat keasaman (pH) merupakan nilai yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam air. Nilai pH dalam limbah domestik dapat mencerminkan keseimbangan antara asam dan basa dalam limbah tersebut. Limbah domestik yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan nilai rataan pH lebih dari 8 (tabel 4) yang menunjukkan limbah tersebut bersifat basa. Pada perlakuan ini juga menunjukkan nilai pH terendah pada perlakuan bakteri dengan eceng gondok berat 300 gr pada akhir pengamatan yaitu 7,35 ppt yang berarti bahwa semakin lama waktu dan kerapatan semakin tinggi maka perlakuan *Bacillus megaterium* dengan eceng gondok memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menurunkan nilai pH. Menurut Peraturan Pemerintah NO. 82 tahun 2001 tentang baku mutu pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air limbah domestik yaitu nilai pH kisaran 6 – 9 ppt.

Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair domestik dengan menggunakan perlakuan *Bacillus megaterium* dengan eceng gondok dengan kerapatan yang berbeda yang dilakukan selama lima belas hari pengamatan didapatkan hasil nilai salinitas yang disajikan dalam. Nilai rataan salinitas air limbah domestik terendah 2,1 ppt pada perlakuan 1 (kontrol) sedangkan nilai rataan salinitas tertinggi pada perakuan 2 (air limbah dengan bakteri) pengambilan nilai salinitas selama awal sampai akhir pengamatan mengalami peningkatan pada akhir pengamatan yang berarti bahwa semakin lama waktu pengamatan nilai salinitas pada air limbah domestik semakin tinggi. Meningkatnya nilai salinitas pada suatu perairan disebabkan karena penguapan semakin besar, kebalikannya semakin kecil penguapan maka salinitasnya makin rendah.

Dissolved Oxygen (DO) merupakan konsentrasi gas oksigen yang terlarut dalam air. Kandungan oksigen terlarut sangat penting bagi biota perairan untuk melangsungkan metabolisme tubuhnya. Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair domestik dengan menggunakan perlakuan *Bacillus megaterium* dengan eceng gondok dengan kerapatan yang berbeda yang dilakukan selama lima belas hari pengamatan didapatkan hasil nilai DO yang disajikan dalam limbah domestik terendah pada perlakuan 1 (kontrol) sedangkan nilai rataan DO air limbah domestik tertinggi pada perakuan 5 (bakteri dengan eceng gondok 300 gr) pengambilan nilai DO selama awal sampai akhir pengamatan mengalami peningkatan pada akhir pengamatan yang berarti bahwa semakin lama waktu pengamatan nilai DO pada air limbah domestik semakin tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa limbah cair domestik di kawasan wisata memiliki karakteristik fisika, kimia, dan biologi yang kompleks. Kandungan seperti BOD, COD, logam berat seperti kromium, minyak dan lemak, serta mikroorganisme patogen menjadikan limbah ini berpotensi besar mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pembuangan limbah tanpa pengolahan yang memadai dapat menyebabkan pencemaran air dan tanah, mempercepat penyebaran penyakit menular, menurunkan kualitas ekosistem perairan, serta menimbulkan kerugian ekonomi bagi sektor pariwisata dan perikanan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah bioremediasi, sebuah metode alternatif yang efektif dan ramah lingkungan dalam

pengolahan limbah cair domestik. Bioremediasi memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air untuk mendegradasi polutan secara biologis, sehingga menghasilkan senyawa yang lebih aman bagi lingkungan.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Adharani & Yusuf (2019) menunjukkan bahwa kombinasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan *Bacillus megaterium* terbukti mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan logam berat kromium (Cr) secara signifikan hingga mendekati atau memenuhi baku mutu air limbah sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001. Dari berbagai perlakuan yang diuji, perlakuan paling efektif adalah P4, yang menggunakan 300 gram eceng gondok dan 2 mL *Bacillus megaterium*. Selain itu, perlakuan P3 juga berhasil menurunkan konsentrasi logam Cr, BOD, dan COD hingga mencapai standar baku mutu sesuai dengan regulasi yang berlaku. Temuan ini menunjukkan bahwa bioremediasi dapat menjadi solusi alternatif yang berkelanjutan untuk mengatasi pencemaran limbah cair domestik di kawasan wisata sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan industri pariwisata.

Untuk memastikan efektivitas bioremediasi dalam pengelolaan limbah cair domestik di kawasan wisata, diperlukan pengembangan lebih lanjut terhadap aplikasi bioremediasi yang berbasis mikroorganisme lokal agar sesuai dengan karakteristik lingkungan di berbagai daerah di Indonesia. Selain itu, diperlukan sinergi antara pemerintah daerah, pelaku pariwisata, dan masyarakat dalam menerapkan sistem pengolahan limbah yang berkelanjutan, khususnya yang berbasis bioteknologi, guna mengurangi dampak pencemaran dan menjaga kelestarian ekosistem wisata. Penelitian lanjutan di skala lapangan juga perlu dilakukan untuk menguji efektivitas bioremediasi dalam kondisi nyata serta dalam berbagai variasi konsentrasi limbah, sehingga dapat diperoleh solusi yang lebih optimal dan aplikatif bagi pengelolaan limbah cair domestik di kawasan wisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Adharani, N., & Yusuf, F. I. (2019). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichorma Crassipe*) Dan *Bacillus Megaterium* sebagai Bioremediator Bahan Organik Dan Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Laut Muncar Banyuwangi. Prosiding: Konferensi Nasional Matematika dan IPA Universitas PGRI Banyuwangi, 1(1), 310-319.
- Ayu, A., & Shovitri, M. (2013). Kemampuan Isolat *Bacillus* sp. dalam Mendegradasi Limbah Tangki Septik. 2(1), 7–11.
- Azhari G. T, 2023. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Domestik dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Pada Kawasan Wisata Taman Opak [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Doraja, P. H., Shovitri, M., Kuswytasari, N. D., & Organik, A. L. (2012). Biodegradasi Limbah Domestik Dengan Menggunakan Inokulum Alami Dari Tangki Septik. 1(1).
- Meylis Safriani And Cut Suciatiina Silvia, 2018. Studi Perencanaan Bangunan Ipal Di Desa Blang Beurandang, Kabupaten Aceh Barat. Jurnal Teknik Sipil. Vol 4(1). Hal: 110-120.
- Nanga, 2017. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Kelurahan Lemahputro Dan Kelurahan Sidokare Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo [Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratnani, R. D. (2012). Kemampuan Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif Untuk Menurunkan Pencemaran Pada Limbah Cair Industri Tahu. 8(1), 1–5.

Suardana, A. dkk. 2023. Pengolahan Limbah Cair Domestik dan Perhotelan dengan Memanfaatkan Efective Microorganisme (EM). Jurnal Widya Biologi Vol 13 (02).
P ISSN : 2086-5783. Hal : 125-136

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. (2003) Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, Boston