

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Cair

1. Definisi Limbah

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, memberikan definisi yang spesifik mengenai limbah cair. Berdasarkan Ketentuan Umum Pasal 1 Ayat 19. Air Limbah didefinisikan secara lugas sebagai sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Dalam Pasal 1 Ayat 20, di definisikan pula Air Limbah Domestik sebagai air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemanfaatan air. Dalam konteks ini, limbah cair yang dihasilkan oleh sektor jasa makanan seperti rumah makan, restoran, atau *catering*, secara umum diklasifikasikan sebagai Air Limbah Domestik, karena sumber pencemarnya berasal dari aktivitas harian seperti memasak, mencuci peralatan makan, dan pembersihan dapur, yang setara dengan aktivitas domestik skala rumah tangga.

Air limbah dapat didefinisikan secara umum sebagai pembawa polutan (*pollutant carrier*). Menurut ulasan oleh (Ferndanes dan Ramisio, 2024) air limbah pada hakikatnya adalah sebuah kombinasi kompleks dari berbagai air buangan yang berasal dari sumber-sumber yang berbed. Sumber-sumber ini mencakup aktivitas domestik (seperti air buangan dari rumah tangga dan pemukiman), aktivitas komersial (termasuk hotel, perkantoran, dan secara spesifik rumah makan), serta proses industri yang sering kali mengandung polutan spesifik. Dalam banyak sistem drainase perkotaan, aliran ini sering kali bercampur dengan air hujan, yang menambah beban polutan dari permukaan jalan dan atap. Air ini dianggap tercemar karena kualitas alaminya telah terdegradasi secara drastis oleh penambahan berbagai kontaminan selama siklus penggunaannya. Kontaminan ini tidak hanya mengubah sifat fisik air (seperti warna dan kekeruhan), tetapi juga sifat kimia dan biologisnya. Polutan kunci yang umum dijumpai meliputi bahan organik terlarut dan tersuspensi dalam konsentrasi tinggi (yang diukur sebagai BOD dan COD), nutrisi seperti nitrogen dan fosfor (dari deterjen dan sisa makanan), padatan tersuspensi (TSS), serta mikroorganisme patogen. Akibat dari degradasi kualitas ini, air limbah menjadi tidak layak untuk penggunaan langsung dan menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan publik dan keberlanjutan ekosistem lingkungan jika dibuang secara langsung tanpa pengolahan yang memadai (Ferndanes dan Ramisio, 2024).

Air limbah rumah tangga dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *Black water* (air limbah toilet) dan *Grey water* (air limbah non-toilet). *Blackwater* adalah air limbah yang secara spesifik berasal dari bilasan toilet. Karena komposisinya yang secara langsung mengandung feces (tinja) dan urin, *blackwater* memiliki beban polutan organik yang sangat tinggi dan konsentrasi patogen berbahaya yang signifikan. Di sisi lain, *Greywater* didefinisikan sebagai seluruh air

limbah rumah tangga yang berasal dari sumber non-toilet. Namun, penting untuk dicatat bahwa *greywater* sendiri sering dibagi lagi menjadi dua sub-kategori berdasarkan tingkat kontaminasinya. Kategori pertama adalah *Light Greywater* (*Greywater* Ringan), yang berasal dari aktivitas mdani (pancuran dan bak), wastafel cuci tangan, dan cucian pakaian (*laundry*), yang umumnya memiliki beban pencemar organik lebih rendah (Gabriel dan Fan, 2022). Kategori kedua, yang menjadi fokus dalam penelitian ini, adalah *Dark Greywater* yang secara spesifik merujuk pada air limbah dapur *kitchen wastewater*. Limbah cair yang berasal dari dapur dan dalam skala komersial, dari rumah makan memiliki karakteristik yang jauh lebih berat dan sulit diolah, dengan konsentrasi bahan organik BOD yang sangat tinggi dibandingkan fraksi *greywater* lainnya.

Parameter limbah cair rumah tangga berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk air limbah Domestik yang terdiri dari parameter kimia dan biologis adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi		
		Klasifikasi (berdasarkan volume air limbah domestik yang dihasilkan dalam m ³ /hari		
		x > 50	3 < x ≤ 50	≤ 3
Tingkat Keasaman (pH*)	-	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi BOD	Mg/l	30	50	75
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (COD)	Mg/l	100	100	
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	Mg/l	30	50	
Amoniak(NH ₃ -N)	Mg/l	10	20	
Deterjen Total	Mg/l	5	10	
Minyak & Lemak	Mg/l	5	10	10

Sumber (Permenklhbph-no-11-tahun-2025)

Persyaratan tersebut berlaku untuk rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bdanara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan. Apabila salah satu dari yang diwajibkan dalam mengolah limbah tersebut tidak mematuhi aturan maka dapat dikenakan sanksi oleh pemerintah.

2. Sumber Air Limbah

Air limbah domestik dihasilkan dari skala rumah tangga yang dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *black water* terdiri dari hasil limbah tinja, air kencing dan *grey water* berasal dari penggunaan air mdani, air limbah dapur, air cucian. Air limbah dapat berasal dari rumah tangga (rumah tangga) atau industri (industri).

1. Sumber Domestik dan Komersial

Sumber limbah domestik sejauh ini merupakan salah satu kontributor limbah terbesar di wilayah perkotaan, yang berasal dari aktivitas konsumsi dan kehidupan sehari-hari. Limbah ini tidak hanya berasal dari permukiman, tetapi juga dari area komersial seperti pasar, restoran, dan perkantoran, yang memiliki pola konsumsi serupa (Kementerian PUPR, 2023)

Sebuah studi oleh (Samarakkody dan Amaratunga, 2022) yang menganalisis timbulan air limbah domestik di kawasan permukiman menegaskan bahwa sumber domestik terbagi menjadi dua fraksi utama: *black water* (air hitam) dan *grey water* (air abu-abu). *Black water* secara eksklusif bersumber dari toilet (kakus) yang kaya akan patogen dan nitrogen amonia, sementara *grey water* bersumber dari aktivitas non-kakus seperti air bekas mdani (mengandung sabun/surfaktan), air cucian (deterjen dan fosfat), serta air limbah dapur (tinggi kandungan minyak, lemak, dan sisa makanan organik). Lebih lanjut, aktivitas domestik tidak hanya menghasilkan limbah cair. Sebuah kajian oleh (Rahim, 2023) menyoroti adanya sumber limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang sering terabaikan dari skala rumah tanggSumber-sumber ini mencakup barang-barang elektronik bekas, baterai bekas, kemasan pembersih berbahan kimia keras, lampu neon bekas (mengandung merkuri), dan sisa obat-obatan. Limbah B3 domestik ini memerlukan penanganan khusus karena sifatnya yang toksik dan reaktif.

2. Sumber Industri

Berbeda dengan limbah domestik yang relatif homogen, limbah yang bersumber dari aktivitas industri memiliki karakteristik yang sangat heterogen dan spesifik, bergantung pada jenis proses produksi yang dijalankan. Sebuah tinjauan (Science, 2024) oleh mengenai pengelolaan limbah padat industri menunjukkan bahwa sumber limbah industri dapat berupa sisa bahan baku, produk gagal, material sisa proses (seperti terak dan abu), serta lumpur (*sludge*) dari

unit pengolahan air limbah (IPAL) industri itu sendiri. Misalnya, industri tekstil menjadi sumber limbah cair yang tinggi kandungan zat warna sintetis yang sulit terdegradasi dan logam berat dari proses pewarnaan. Sementara itu, industri pengolahan makanan (seperti pabrik kelapa sawit atau tapioka) menjadi sumber limbah cair dengan beban organik BOD yang ekstrem tingginya. Karena sifatnya yang sering kali toksik dan volumenya yang tinggi, limbah industri ditempatkan di bawah regulasi pengawasan yang ketat.

3. Sumber Pertanian

Sektor pertanian, meskipun esensial untuk ketahanan pangan, merupakan sumber limbah biomassa dalam volume yang sangat besar. Mengidentifikasi sumber utama limbah pertanian di Indonesia berasal dari kegiatan pasca panen, seperti sekam padi, jerami padi, tongkol jagung, dan tandan kosong kelapa sawit. Karakteristik utama limbah ini adalah ketersediaannya yang melimpah dan musiman.

Selain limbah padat biomassa, sumber limbah cair dari pertanian juga signifikan, terutama berasal dari limpasan (*run-off*) air dari lahan yang menggunakan pupuk (N, P, K) dan pestisida secara berlebihan. Limpasan ini berkontribusi besar terhadap pencemaran badan air permukaan, yang dikenal sebagai eutrofikasi.

3. Karakteristik Limbah

Berikut Adalah karakteristik limbah

3.1 Fisik

Karakteristik fisik adalah parameter yang dapat diamati langsung dan mempengaruhi aspek estetika serta fisik air. Karakter fisik air limbah ditentukan oleh polutan yang masuk ke dalam air limbah dan memberikan perubahan fisik pada air limbah tersebut.

1. Suhu

Merupakan parameter utama yang mempengaruhi hampir semua proses dalam pengolahan air limbah. Suhu air berkisar dari 10°C hingga 35°C dalam kondisi alami dan dapat bervariasi tergantung sumber pencemar dan suhu lingkungan. Suhu yang tinggi akan mempercepat reaksi kimia dan metabolisme mikroorganisme yang tergantung pada proses biologis pengolahan air limbah (Todini dan Tasti, 2020). Selain itu, suhu yang tinggi dapat menurunkan tingkat oksigen terlarut dalam air karena meningkatnya konsumsi oksigen selama reaksi biologis. Sebaliknya, suhu yang rendah dapat memperlambat proses degradasi bahan organik serta mengurangi efisiensi biodegradasi. Oleh karena itu, pengendalian suhu menjadi faktor penting dalam proses oksidasi biologis dan penentuan kondisi optimum pengolahan air limbah.

2. Kekeruhan

Merupakan indikator kejernihan air yang diukur berdasarkan jumlah partikel tersuspensi di dalamnya, termasuk sedimen, alga, bahan organik, dan bahan anorganik lainnya. Tinggi tingkat kekeruhan biasanya menunjukkan adanya kontaminasi yang signifikan dan dapat disebabkan oleh kegiatan industri, pertanian, maupun domestik. Kekeruhan yang tinggi berpengaruh negatif terhadap proses pengolahan biologis karena mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air (Puyalto dan Garcia, 2019). Tanpa cahaya yang cukup, proses fotosintesis di lingkungan akuatik akan terganggu, yang berdampak pada ekosistem dan kemampuan pengolahan biologis. Selain itu, kekeruhan yang tinggi juga mengindikasikan keberadaan partikel yang dapat menyerap bahan pencemar lain, memperburuk kondisi air dan meningkatkan kesulitan proses pemisahan dan pengendapan.

3. Warna

Merupakan salah satu indikator visual yang menunjukkan adanya bahan-bahan pencemar dalam air limbah. Perubahan warna, seperti menjadi pekat, keruh, atau berubah menjadi warna tertentu (contohnya coklat, hijau, atau hitam), biasanya menunjukkan keberadaan bahan organik, pigmen, zat warna industri, maupun bahan anorganik lainnya (Todini dan Tatsi, 2020). Warna yang tidak alami atau mencurigakan harus diperhatikan karena menunjukkan adanya kontaminasi bahan pencemar. Warna juga dapat dipengaruhi oleh bahan tersuspensi maupun bahan terlarut yang dihasilkan dari proses degradasi bahan organik, limbah industri, maupun limbah domestik. Pemantauan warna secara rutin dapat membantu mendeteksi potensi pencemaran yang perlu segera ditangani.

4. Bau

Merupakan parameter sensori yang sangat bergantung pada kepekaan penciuman dan bersifat subjektif. Bau yang tidak sedap, menyengat, atau bau busuk biasanya menunjukkan adanya bahan organik yang mengalami dekomposisi anaerobik. Gas-gas seperti sulfur, amonia, dan zat organik yang terdegradasi oleh mikroorganisme menyebabkan munculnya bau tidak sedap ini (Puyalto dan García, 2019). Bau yang kuat dan tidak menyenangkan dapat mengindikasikan kontaminasi bahan pencemar berbahaya dan menunjukkan bahwa proses oksidasi atau pembersihan belum optimal. Bau juga dapat mendandakan keberadaan zat-zat beracun yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lain di sekitar area pengolahan air limbah. Oleh karena itu, pengamatan bau harus dilakukan secara rutin sebagai bagian dari pengawasan kualitas air limbah.

3.2 Kimia

Ini adalah parameter inti yang mengukur kandungan senyawa kimia, terutama bahan organik dan nutrisi, yang menjadi fokus utama dalam pengolahan limbah. Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh BOD, COD, lemak dan minyak (FOG), pH, serta logam-logam berat yang terkandung dalam air limbah (Zahra A, 2024).

1. *Biochemical Oxygen Demand BOD*

Biochemical Oxygen Demand BOD didefinisikan sebagai parameter empiris yang mengukur jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi oleh mikroorganisme, khususnya bakteri aerobik, dalam proses oksidasi biologi untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Analisis ini merepresentasikan fraksi bahan organik yang dapat terurai secara hayati (*biodegradable*). Dalam konteks pemantauan kualitas lingkungan, BOD berfungsi sebagai indikator utama beban pencemaran organik; semakin tinggi nilai BOD dalam suatu sampel air limbah, semakin besar pula kandungan bahan organik yang harus didegradasi, yang secara langsung berimplikasi pada penurunan kualitas air badan penerima (Danika, Wahyuningsih, dan Fajri 2020)

Keberadaan kadar BOD yang berlebihan dalam perairan memiliki korelasi negatif yang signifikan terhadap kadar Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*). (Napitupulu *et al.*, 2024) dalam penelitian terbarunya menjelaskan bahwa tingginya aktivitas mikroorganisme dalam mengurai materi organik akan menguras ketersediaan oksigen di air. Kondisi deplesi oksigen ini sangat berbahaya bagi ekosistem akuatik karena dapat menyebabkan kematian biota air seperti ikan. Lebih lanjut, jika oksigen terlarut habis sepenuhnya, proses dekomposisi akan beralih ke fase anaerobik yang menghasilkan produk sampingan gas beracun dan berbau busuk, sehingga mengganggu estetika lingkungan dan kesehatan masyarakat.

2. *Minyak dan Lemak (Fat, Oil, dan Grease / FOG)*

Minyak dan lemak, yang dalam literatur internasional sering diistilahkan sebagai *Fat, Oil, dan Grease (FOG)*, merupakan komponen organik yang sangat dominan ditemukan pada limbah cair domestik, khususnya yang berasal dari kegiatan komersial seperti rumah makan atau restoran. Secara kimiawi, kelompok senyawa ini terdiri dari ester, asam lemak, gliserol, dan hidrokarbon yang memiliki karakteristik hidrofobik (tidak larut dalam air) serta densitas yang lebih rendah daripada air. Akibat karakteristik fisika tersebut, minyak dan lemak cenderung memisahkan diri dari fasa cair dan membentuk lapisan film yang mengapung di permukaan air. Keberadaan FOG dalam konsentrasi tinggi pada limbah cair rumah makan berasal dari proses pengolahan makanan yang menggunakan minyak goreng, santan, serta lemak hewani (daging) yang terbuang saat proses pencucian peralatan masak.

Kadar FOG yang berlebihan dapat menyebabkan penyumbatan (*clogging*) pada pori-pori tanah atau media tanam, serta melapisi permukaan akar tanaman (seperti kangkung air atau bambu air).

Kondisi ini dapat menghambat mekanisme absorpsi nutrisi dan oksigen oleh akar, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi tanaman dalam mereduksi polutan lain seperti BOD dan COD. Oleh karena itu, reduksi minyak dan lemak sering kali menjadi prioritas utama sebelum limbah masuk ke unit pengolahan biologis lanjut.

3. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter penting untuk menilai tingkat pencemaran bahan organik dalam limbah cair dan badan air. COD diukur berdasarkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik, baik yang terlarut maupun yang tersuspensi, menggunakan oksidator kimia seperti KMnO_4 di bawah kondisi tertentu. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa nilai COD sangat berperan dalam menilai efisiensi proses pengolahan limbah industri dan domestik serta prediksi dampak terhadap ekosistem perairan (Kumar, 2020).

Selain itu, beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi teknologi pengolahan seperti biofilm, oksidasi lanjutan, dan adsorpsi bahan organik sangat efektif dalam menurunkan kadar COD sehingga limbah cair dapat memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan (Kumar, 2020).

4. pH

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan larutan air dan memegang peranan penting dalam proses metabolisme mikroorganisme, kestabilan bahan kimia, serta mobilitas polutan dalam air. Nilai pH berkisar dari 0 sampai 14, dimana pH di bawah 7 menyatakan kondisi asam, pH 7 netral, dan pH di atas 7 bersifat basa (Sari, 2019). Studi terbaru dari (Sari, 2019) menyatakan bahwa pH yang ekstrem dapat memberikan tekanan lingkungan yang signifikan terhadap mikroorganisme pengurai dalam limbah, menghambat proses bio degradasi bahan organik dan memperlambat efisiensi pengolahan limbah. Hasil penelitian mereka menegaskan bahwa kontrol pH penting dalam proses bio remediasi dan pengolahan biologis limbah, di mana rentang pH optimal berkisar antara 6,5 hingga 8,5 agar proses berlangsung efektif. Selain itu, pH yang tidak stabil dapat menyebabkan mobilitas logam berat yang terkandung dalam limbah, membuatnya lebih mudah larut dan menyebar ke lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pengelolaan limbah harus memperhatikan buffer pH yang memadai serta metode penyesuaian pH secara terkontrol, seperti penambahan bahan penyangga atau bahan pengendap.

Dalam konteks pengolahan air limbah berbasis fitoremediasi, pH berpengaruh langsung terhadap aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroorganisme yang mampu mengurai polutan. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa teknologi pengolahan yang ramah lingkungan dapat mempertahankan pH stabil selama proses berlangsung, sehingga meningkatkan kapasitas pengolahan limbah (Sari, 2019).

A.3.3 Biologi

Karakteristik ini berfokus pada mikroorganisme yang ada di dalam air limbah, baik sebagai agen pengolah (dekomposer) maupun sebagai indikator pencemaran (patogen). Karakteristik

biologi air limbah merupakan hal penting dalam pengendalian penyakit yang disebabkan oleh organisme patogen dan peran mikroorganisme pada dekomposisi dan stabilitas zat organik. Organisme yang banyak ditemukan antara lain bakteri, jamur, protozoa dan algae. Indikator pencemaran biologi yang umum digunakan adalah *Total Coliform* dan *Escherichia coli* (*E. coli*) yang menunjukkan adanya kontaminasi tinj

4. Dampak Limbah

Air limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif bagi makhluk hidup dan lingkungannya. Penelitian terbaru mengkonfirmasi bahwa dampak negatif tersebut mencakup aspek kesehatan, ekologis, dan estetika (Putra, 2023).

1. Gangguan Kesehatan

Air limbah dapat mengandung bibit penyakit yang dapat menimbulkan penyakit bawaan air (*water borne diseases*). Selain itu di dalam air limbah terdapat zat-zat berbahaya dan beracun yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi makhluk hidup yang mengkonsumsinya. Air limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat menjadi sarang vektor penyakit (misalnya nyamuk, lalat, kecoa dan lain-lain). Selain resiko yang disebabkan oleh mikroba, senyawa toksik pun dapat menyebabkan kematian dan penderitaan manusia seperti kematian akibat keracunan pestisida dalam air minum atau keracunan akibat logam berat (Putra, 2023)

2. Penurunan Kualitas Lingkungan

Air limbah yang dibuang langsung ke air permukaan (misalnya: sungai dan danau) dapat mengakibatkan pencemaran air permukaan tersebut. Sebagai contoh, bahan organik yang terdapat dalam air limbah bila dibuang langsung ke sungai dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen yang terlarut (*Dissolved Oxygen*) di dalam sungai tersebut. Dengan demikian akan menyebabkan kehidupan di dalam air yang membutuhkan oksigen akan terganggu, dalam hal ini mengurangi perkembangannya. Bila air tanah tercemar maka kualitasnya akan menurun sehingga tidak dapat lagi digunakan peruntukannya (Hidayat dan Wuldanari, 2025)

3. Gangguan Terhadap Keindahan

Terkadang air limbah mengandung polutan yang tidak mengganggu kesehatan dan ekosistem, tetapi mengganggu keindahan (estetika). Contoh yang sederhana adalah air limbah yang mengandung pigmen warna yang dapat menimbulkan perubahan warna pada badan air penerima. Air limbah dapat juga mengandung bahan-bahan yang bila terurai menghasilkan gas-gas yang berbau menyengat. Air yang tercemar dapat mengeluarkan bau yang sangat menusuk hidung atau berubah warna menjadi hitam atau coklat tergantung dari jenis pencemaran yang ada. Keadaan ini akan mengganggu segi keindahan yang dipunyai air (Putra, 2023).

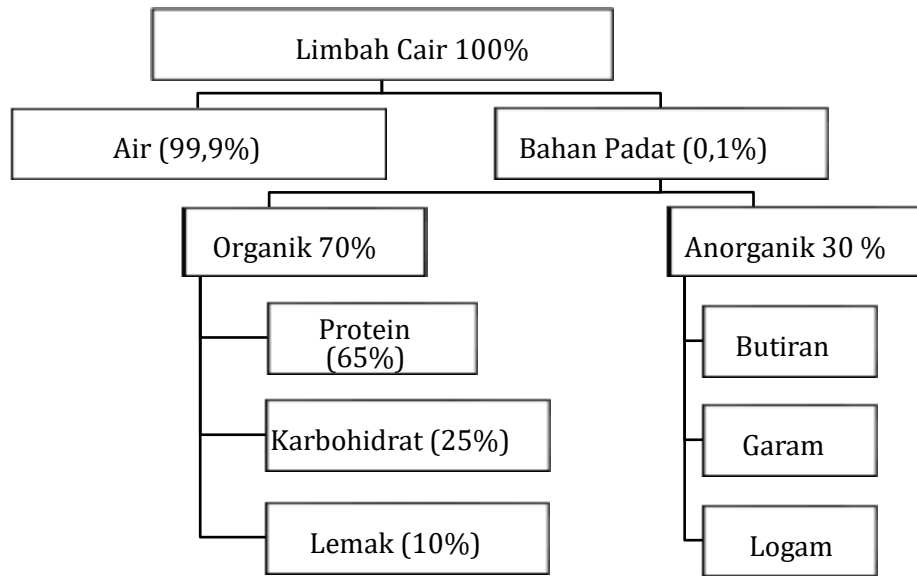
B. Limbah cair rumah makan

1. Definisi limbah cair rumah makan

Limbah cair rumah makan, yang dalam literatur internasional dikenal sebagai *Food Service Establishment (FSE) waste water*, merepresentasikan salah satu sumber outlet domestik dengan tingkat kompleksitas penanganan yang signifikan. Aktivitas operasional utama di rumah makan, terutama proses pencucian peralatan, menghasilkan limbah cair dengan karakteristik unik, yakni fluktuasi debit yang sangat variatif serta konsentrasi polutan yang jauh melampaui limbah domestik pada Salah satu parameter kunci yang menjadi indikator pencemaran utama dari limbah cair rumah makan adalah *Biochemical Oxygen Demand* BOD. Kandungan materi organik terlarut dan tersuspensi, yang berasal dari sisa makanan dan minyak nabati pasca-pakai, berkontribusi pada nilai BOD yang sangat tinggi, yang dilaporkan dapat melampaui rentang 1.000–4.000 mg/L (Issa, 2023). Apabila efluen dengan beban organik setinggi ini dilepaskan langsung ke badan air penerima, akan terjadi deplesi oksigen terlarut (*dissolved oxygen depletion*) secara cepat. Kondisi hipoksia atau anoksia yang diakibatkannya bersifat letal bagi sebagian besar biota akuatik (Syawfani, 2024). Sebagai Perbandingan, Peraturan Menteri LHK No. 68 Tahun 2016 menetapkan baku mutu BOD limbah domestik pada angka 30 mg/L, yang menunjukkan adanya diskrepansi substansial dengan konsentrasi limbah cair rumah makan di lapangan.

2. Komposisi Air Limbah Rumah Makan

Menurut Sugiharto (1987), komposisi air limbah pada dasarnya terdiri dari 99,9 cairan dan hanya 0,1 benda padat. Meskipun persentase benda padat terlihat kecil, komponen inilah yang menjadi sumber utama pencemaran. Benda padat tersebut terbagi menjadi dua kelompok, yaitu zat organik dan zat anorganik. Dalam konteks limbah cair rumah makan, komponen yang paling dominan dan penting adalah zat organik, yang tersusun atas gabungan protein, karbohidrat, dan lemak. Karakteristik spesifik dari limbah rumah makan ditandai tingginya kandungan zat organik (lemak dan karbohidrat) inilah yang menyebabkan tingginya nilai *Biochemical Oxygen Demand* BOD, serta menimbulkan bau busuk akibat proses pembusukan oleh bakteri jika dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan.



Sumber : Sugiharto (1987)

Gambar 1. Komposisi Air Limbah Rumah Makan

C. Fitoremediasi Sebagai Metode Pengolahan Limbah

1. Fitoremediasi

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memulihkan lingkungan tercemar adalah dengan fitoremediasi. Fitoremediasi dapat digunakan untuk air, tanah, maupun udara yang tercemar. Fitoremediasi adalah suatu cara untuk menghilangkan atau mengurangi polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi menggunakan bantuan tumbuhan (Khan, 2022).

Fitoremediasi sebagai salah satu opsi pemulihan lingkungan tentunya juga memiliki kelebihan dan kelemahan. Contoh kelemahan fitoremediasi adalah memakan waktu proses yang relatif lama, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem. Namun, fitoremediasi juga memiliki keunggulan, seperti prosesnya dapat dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*, mudah diterapkan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi, teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Aghni *et al.*, 2020).

Salah satu upaya untuk mengurangi kandungan amoniak antara lain secara proses biologi dengan menggunakan tanaman yang dikenal sebagai proses *phytoremediation*, sebuah kata yang berasal dari bahasa Yunani, kata *phyto* berarti tanaman dan kata *remediate* yang berarti untuk memperbaiki. Penerapan fitoremediasi untuk mengatasi berbagai pencemaran air dan tanah. Keunggulannya antara lain; proses ramah lingkungan, aman, murah dan bahkan dapat diterapkan untuk pengolahan limbah radioaktif. Keterbatasan dari fitoremediasi antara lain, memakan waktu yang relatif lama, polutan yang terkandung di dalam tanah atau air harus berada dalam jangkauan akar tanaman, oleh karenanya memerlukan area pengolahan yang luas. Keuntungan fitoremediasi adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya dapat dilakukan secara *insitu* dan *eksitu*, mudah diterapkan dan biaya yang terjangkau, teknologi ramah lingkungan, bersifat estetik bagi lingkungan, dan dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar. Kerugian fitoremediasi adalah prosesnya memerlukan waktu yang lama, bergantung pada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomassa tumbuhan, dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Aghni *et al.*, 2020).

2. Faktor yang Mempengaruhi Proses Fitoremediasi

Proses fitoremediasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Suhu (Temperature)

Suhu lingkungan abiotik memegang peranan vital dalam mengatur laju metabolisme tanaman, terutama proses transpirasi dan fotosintesis. Studi terbaru oleh (Utami dan Puteri, 2024) menunjukkan bahwa suhu lingkungan berkorelasi positif dengan laju transpirasi tanaman; suhu yang hangat (dalam rentang toleransi 25°C – 35°C) meningkatkan bukaan stomata, yang pada

gilirannya mempercepat penyerapan air limbah dan polutan terlarut ke dalam jaringan tanaman. Selain itu, suhu juga mempengaruhi kadar Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) yang esensial bagi bakteri aerob di zona akar untuk mendegradasi polutan organik. Fluktuasi suhu yang ekstrem dapat menghambat aktivitas enzimatis tanaman dan menurunkan efisiensi penyisihan beban pencemar.

2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter kritis yang menentukan spesiasi kimia dan kelarutan (solubilitas) polutan di dalam air. Menurut penelitian (Alivia *et al.*, 2024), kondisi pH yang terlalu asam ($\text{pH} < 5$) cenderung meningkatkan mobilitas logam berat hingga level toksik yang dapat merusak jaringan akar, sedangkan pH yang terlalu basa ($\text{pH} > 9$) dapat menyebabkan presipitasi logam sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Dalam konteks limbah organik, (Pendipa Journal, 2024) mencatat bahwa tanaman air dapat mengeluarkan cairan akar yang berfungsi menstabilkan keasaman air. Hal ini menciptakan kondisi pH netral (6,5–7,5) yang sangat disukai oleh bakteri pengurai limbah."

3.

Umur

Tanaman

Penentuan umur tanaman memegang peranan penting dalam penelitian fitoremediasi karena berkorelasi langsung dengan laju metabolisme, efisiensi remediasi yang optimal terjadi ketika tanaman berada pada fase pertumbuhan eksponensial di mana absorpsi polutan mencapai tingkat maksimal, sehingga penggunaan tanaman pada fase generatif harus dihindari. Berdasarkan penelitian ini, (*Ipomoea aquatica*) Kangkung Air yang merupakan tanaman air yang siklus hidupnya pendek digunakan pada fase vegetatif awal, yakni umur 14–21 hari pasca semai (HSS) dengan tinggi 15–20 cm dan 3–5 helai daun, atau telah melalui masa aklimatisasi selama 7 hari apabila menggunakan metode vegetatif (stek). Sementara itu, (*Equisetum hyemale*) Bambu air sebagai tanaman air jangka panjang memerlukan masa aklimatisasi selama 7 hari pada media air bersih guna meminimalkan risiko cekaman fisiologis (*physiological stress*), dengan indikator kesiapan uji berupa ketidakhadiran gejala klorosis pada batang, munculnya tunas akar baru, serta homogenitas tinggi tanaman pada kisaran 50–60 cm (Suhartini, 2025).

4. Waktu Tinggal

Waktu tinggal hidrolis (*Hydraulic Retention Time/HRT*) mendefinisikan durasi kontak antara air limbah dengan sistem perakaran tanaman. Studi literatur oleh (Putri *et al.*, 2022) menegaskan bahwa perpanjangan waktu tinggal memberikan kesempatan yang lebih besar bagi mekanisme difusi, sorpsi, dan degradasi biologis untuk berlangsung secara tuntas. Efisiensi penurunan parameter pencemar seperti COD dan TSS umumnya mencapai puncaknya pada hari ke-7 hingga ke-14 sebelum mencapai titik jenuh (*saturation point*). Waktu tinggal yang melebihi titik jenuh berisiko menyebabkan pelepasan kembali polutan (*leaching*) akibat pembusukan jaringan tanaman.

5. Jenis Tanaman

Pemilihan jenis tanaman menentukan mekanisme dominan yang akan terjadi dalam sistem reaktor.

1. (*Ipomoea aquatica*) Kangkung Air, karena morfologi akar serabutnya yang lebat sangat efektif sebagai media filtrasi fisik (rhizofiltration) untuk memerangkap padatan tersuspensi (TSS). Riset terbaru dalam Jurnal Penelitian (Saintek, 2025) menunjukkan efektivitas tinggi tanaman ini dalam menurunkan BOD dan logam berat melalui translokasi cepat ke batang berongga.
2. (*Equisetum hyemale*) Bambu Air, Dipilih karena sifatnya sebagai hiperakumulator yang tangguh. Sebuah tinjauan menyoroti tingginya kandungan silikat pada batang bambu air yang memberikan proteksi terhadap toksisitas limbah, memungkinkannya bertahan pada beban organik tinggi sembari memberi oksigen ke rizosfer untuk mendukung degradasi aerobik.

3. Tumbuhan Fitoremediasi

1. (*Ipomoea aquatica*) Kangkung air

Tanaman kangkung mempunyai daun licin dan berbentuk mata panah, sepanjang 5–6 inci. Tumbuhan ini memiliki batang yang menjalar dengan daun berselang serta batang yang menegak pada pangkal daun. Tumbuhan ini berwarna hijau pucat dan menghasilkan bunga berwarna putih yang menghasilkan kantong dan mengandung empat biji benih. (Prasetyo *et al.* 2023)

Akar tanaman kangkung tumbuh menjalar dengan percabangan yang cukup banyak. Pada bagian batang yang berbentuk menjalar di atas permukaan tanah basah atau terapung, kadang-kadang membelit. Tangkai daun melekat pada buku-buku batang. Bentuk daunnya seperti jantung, segitiga, memanjang, bentuk garis atau lanset, rata atau bergigi, dengan pangkal yang terpancung atau bentuk panah sampai bentuk lanset. (Prasetyo *et al.*, 2023). Tanaman ini memiliki karangan bunga di ketiak, berbentuk payung/ terompet dan berbunga sedikit. Terdapat daun pelindung tapi berukuran kecil, daun kelopak berbentuk bujur telur memanjang dan tumpul. Tonjolan dasar bunga berbentuk cincin, tangkai putik berbentuk benang, dan kepala putik berbentuk bola rangkap.

Tumbuhan kangkung air merupakan tumbuhan yang hidup di air (*hydrophyta*). Tumbuhan ini sistem perakarannya di tanah meskipun tempat tumbuhnya di perairan. Tumbuhan kangkung air biasa hidup di tempat yang lembab seperti di daerah rawa, parit, sawah, dan pinggir-pinggir jalan yang tergenang (Prasetyo *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh (Indrawati, Ndibale, dan Wibowo 2025) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman air seperti (*Ipomoea aquatica*) Kangkung Air terbukti efektif dalam mereduksi nilai BOD pada limbah cair organik. Mekanisme ini terjadi melalui simbiosis antara akar tanaman dan bakteri rizosfer yang mempercepat degradasi bahan organik, sehingga nilai BOD efluen dapat memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air. Hal serupa juga dikonfirmasi oleh (Syarifuddin, 2025)

yang menekankan pentingnya peran tanaman air sebagai agen bioremediasi dalam menurunkan beban pencemar organik secara alami dan ramah lingkungan.



Sumber: Jurnal Struktur Morfologi *Ipomoea aquatica* Kangkung Air Asal Area Kediri Raya (Shafira *et al.*, 2024)

Gambar 2. Tanaman *Ipomoea aquatica* (Kangkung Air)

2. Tanaman (*Equisetum hyemale*) Bambu air

Tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) Bambu air memiliki morfologi batang yang unik, berbentuk silindris, berongga, dan berbuku-buku menyerupai tanaman bambu dalam ukuran mini. Berbeda dengan tanaman pada umumnya, batang tanaman ini berfungsi sebagai organ fotosintesis utama karena daunnya tereduksi menjadi selubung kecil seperti sisik yang melingkar di setiap ruas batang (Sitia, 2022)

Batang tanaman ini berwarna hijau tua dengan tekstur permukaan yang kasar karena kandungan silika yang tinggi, yang memberikan kekuatan mekanis agar tanaman tetap tegak meskipun diterpa aliran air

Sistem perakaran tanaman (*Equisetum hyemale*) Bambu Air terdiri dari rimpang (*rhizome*) yang menjalar di bawah permukaan substrat dan akar serabut yang tumbuh sangat rapat dari rimpang tersebut. Struktur akar yang rimbun dan mendalam ini memungkinkan tanaman mencengkeram kuat pada media tanam dan berfungsi efektif sebagai biofilter fisik. Tanaman ini tidak menghasilkan bunga atau biji sejati, melainkan berkembang biak secara generatif melalui spora yang dihasilkan pada struktur berbentuk kerucut (*strobilus*) di ujung batang, serta secara vegetatif melalui tunas rimpang (Ikhsan, Saifizul, dan Ramli 2021). Tumbuhan (*Equisetum hyemale*) Bambu air merupakan jenis tanaman semi-akuatik yang habitat aslinya berada di area lahan basah (*wetlands*), pinggiran sungai, atau rawa-rawa. Tanaman ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi tanah yang jenuh air (anaerobik). Kemampuan hidup di lingkungan

tergenang ini didukung oleh adanya jaringan aerenkim pada batangnya, yang berfungsi menyuplai oksigen dari atmosfer menuju zona perakaran, sehingga memungkinkan mikroorganisme tanah tetap hidup di sekitar akar (Widyastuti, Suprayitno, dan Rahardjo, 2023)

Penelitian yang dilakukan oleh (Sitia, 2022) menunjukkan bahwa penggunaan (*Equisetum hyemale*) Bambu air dalam sistem lahan basah buatan (*constructed wetland*) terbukti efektif dalam menurunkan kadar polutan seperti BOD, COD, dan TSS pada limbah cair. Mekanisme pemulihan kualitas air ini terjadi melalui proses *rhizofiltration*, di mana akar serabut tanaman menahan partikel tersuspensi, serta adanya simbiosis dengan bakteri di rizosfer yang menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Temuan ini sejalan dengan studi (Widyastuti, Suprayitno, dan Rahardjo, 2023) yang menyatakan bahwa (*Equisetum hyemale*) Bambu air memiliki sifat hiperakumulator dan toleransi tinggi terhadap toksisitas, menjadikannya agen fitoremediasi yang efisien untuk mereduksi beban pencemar organik maupun logam berat sebelum limbah dibuang ke lingkungan.



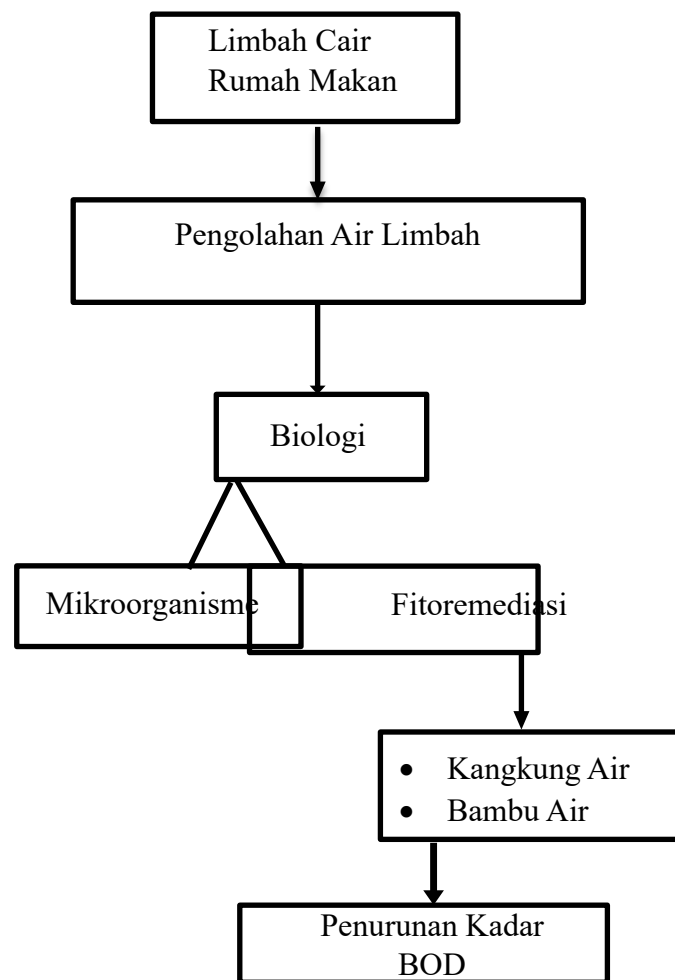
Sumber: E-book Judul Buku: Potensi Air Pada Batang Bambu air

Gambar 3. Tanaman (*Equisetum hyemale*) Bambu air

4. Peran Media Pasir dalam Reaktor Fitoremediasi

Penggunaan media pasir dalam reaktor fitoremediasi memiliki peran vital karena mengadopsi mekanisme *Subsurface Flow Constructed Wetland* yang terbukti meningkatkan efektivitas pengolahan limbah cair. Berdasarkan penelitian (Sitia, 2022) keberadaan media pasir pada sistem (*Equisetum hyemale*) Bambu air tidak hanya berfungsi sebagai penyangga fisik tanaman, tetapi juga sebagai media tumbuh yang efektif bagi mikroorganisme pengurai untuk mendegradasi polutan. Temuan ini sejalan dengan studi (Salim, 2021) pada tanaman (*Ipomoea aquatica*) Kangkung air, yang membuktikan bahwa kombinasi media pasir dan akar tanaman mampu menurunkan kadar (*Biological Oxygen Demand*) BOD dan padatan tersuspensi (TSS) secara signifikan melalui mekanisme filtrasi fisik dan penyerapan biologis, sehingga kualitas efluen air limbah menjadi lebih jernih dan memenuhi baku mutu.

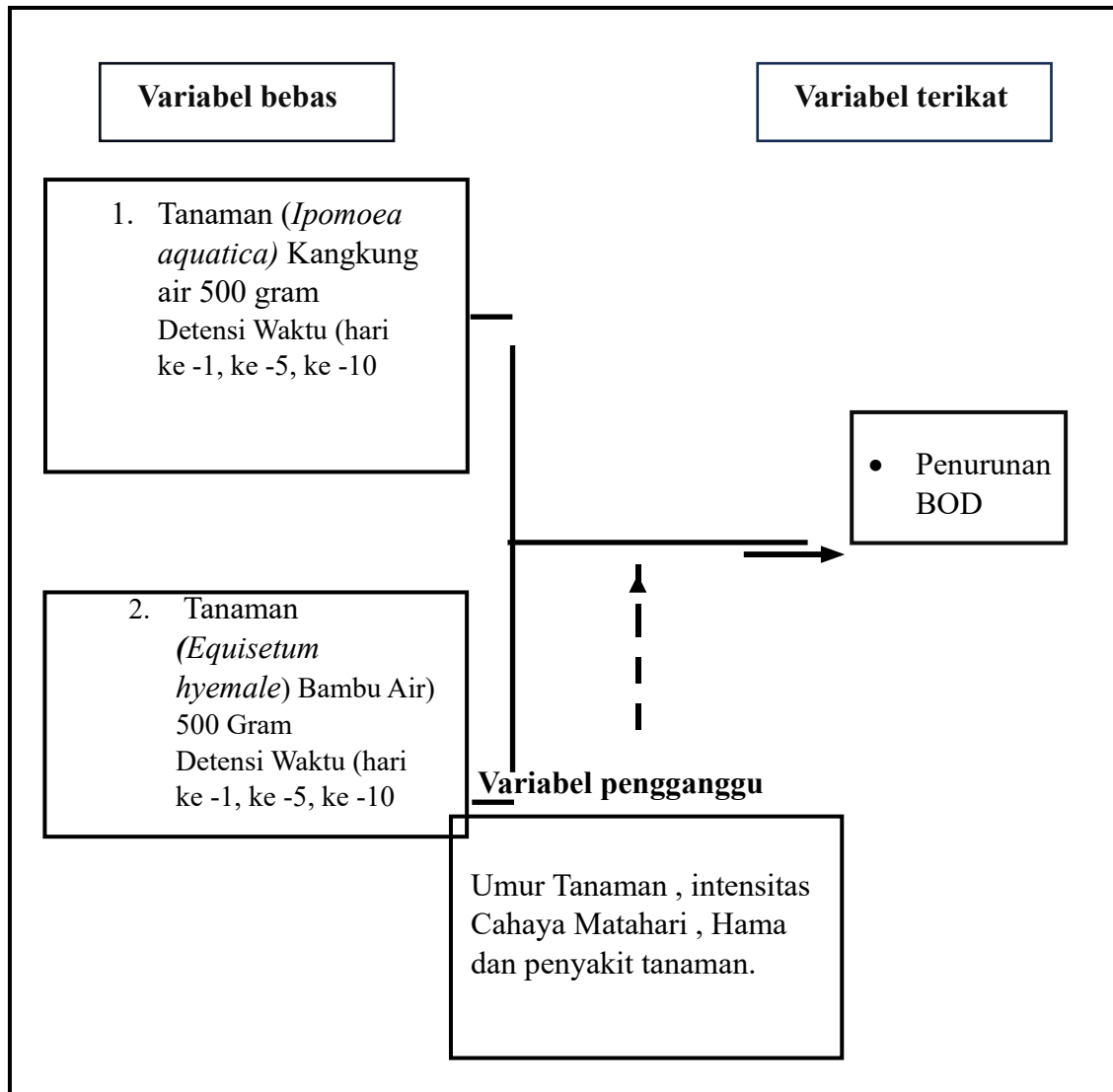
D. Kerangka Teori



Gambar 4. Kerangka Teori

E. Kerangka Konsep

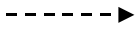
Kerangka konsep penelitian adalah suatu hubungan atau kaitan antara konsep-konsep atau variabel-variabel yang akan diamati atau diukur melalui penelitian (Notoatmodjo, 2002).



Gambar 5. Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan:

Diteliti : 

Tidak diteliti : 

BOD : (*Biological Oxygen Demand*)

F. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka, hipotesis penelitian ini adalah:

H0 = Tidak ada pengaruh (*Ipomoea aquatica*) Kangkung air dan (*Equisetum hyemale*) Bambu air terhadap Kadar BOD

Ha = Ada pengaruh (*Ipomoea aquatica*) Kangkung air dan (*Equisetum hyemale*) Bambu air terhadap Kadar BOD

G. Definisi Operasional

Untuk menghindari perbedaan interpretasi, variabel penelitian didefinisikan secara operasional sebagai berikut:

Tabel 2. Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala
1.	Air limbah rumah makan	Air Limbah cair yang berasal dari aktivitas dapur (pencucian alat dan bahan) Rumah Makan Arya yang beralamat di Jl. Veteran No. 71, Kp. Dalam, Kec. Kabanjahe, Kabupaten karo, Sumatera Utara 22113 yang diambil dari bak kontrol <i>outlet</i> sebelum masuk ke saluran drainase.	Sampling	Jeregen	-

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala
2.	<i>Ipomoea aquatica</i>	Tanaman kangkung air yang sehat, diperoleh dari Lokasi Sawah petani di Gung Negeri Jl Siki KaKaro dengan biomassa (berat basah awal yang seragam 500 gram/reaktor) dan telah diaklimatisasi dalam air selama 7 hari.	Penimbangan	Timbangan	Rasio
3.	<i>Equisetum hyemale</i>	Tanaman bambu air yang sehat, diperoleh dari Lokasi Sawah petani di Gung Negeri Jl Siki KaKaro, dengan tinggi seragam 30 cm dan berat biomassa 500 gr/reaktor dan telah diaklimatisasi dalam air selama 7 hari.	Pengukuran, Penimbangan	Meteran, Timbangan	Rasio
4.	Reaktor Fitoremediasi	Wadah plastik berukuran volume 15 Liter yang berisi media pasir setinggi 5 cm di bagian dasar dan diisi limbah cair sebanyak 5 Liter, dioperasikan secara <i>batch</i> .	Pengukuran	Meteran	Rasio
5.	Efektivitas Penurunan BOD	Persentase penurunan konsentrasi BOD limbah setelah perlakuan fitoremediasi selama waktu tinggal tertentu	Analisa Laboratorium	Titrasi, BOD Meter	Rasio ()

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala
		10 hari dibandingkan konsentrasi awal. Dihitung dengan rumus: $((BOD_{awal} - BOD_{akhir}) / BOD_{awal}) \times 100$.			
6.	Kelompok Kontrol	Pengolahan air limbah rumah makan menggunakan metode fitoremediasi tanpa medi	Buret, Erlemenyer	Titrasi Iodimetri	Rasio
7.	Variabel Pengganggu (Umur Tanaman, Intensitas Cahaya, Hama)	Faktor eksternal yang dikendalikan (dibuat seragam) agar tidak membiaskan hasil penurunan BOD. 1. Biomassa Tanaman: Dikendalikan dengan menimbang berat awal tanaman secara seragam (500 gram) untuk setiap reaktor. 2. Intensitas Cahaya: Dikendalikan dengan menempatkan seluruh reaktor di satu lokasi terbuka yang sama agar mendapat paparan sinar matahari yang merata. 3. Homogenitas Limbah: Dikendalikan	Observasi dan Kontrol (Penimbangan & Penempatan)	Fisik Lembar & Observasi	-

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala
		dengan mengaduk limbah dalam wadah besar sebelum didistribusikan ke reaktor kecil agar konsentrasi awal sama persis			