BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Cair

A.1 Pengertian Limbah Cair

Limbah cair adalah sisa buangan yang tidak lagi dimanfaatkan, yang berasal dari aktivitas produksi maupun operasional rumah tangga dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (Fitriyanti, 2020). Sumber utama dari limbah cair sangat beragam, meliputi aktivitas industri (misalnya dari proses manufaktur dan pendinginan), kegiatan domestik atau rumah tangga (seperti air bekas cucian, mandi, dan kakus), serta aliran dari area perkotaan dan pertanian (seperti limpasan air hujan yang tercemar).

Limbah cair didefinisikan sebagai air sisa dari berbagai aktivitas atau proses penggunaan, yang di dalamnya telah terkandung bahan pencemar (polutan) dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik. Kuantitas limbah cair cenderung jauh melampaui jenis limbah lain. Hal ini disertai dengan kandungan pencemar yang lebih beragam, meliputi zat-zat seperti alkohol, minyak, fenol, logam berat, dan pewarna sintetis. Kualitas air layak pakai yang diharapkan umumnya memiliki karakteristik yang beragam, yang mana disesuaikan dengan tujuan pemanfaatannya. Pemanfaatan tersebut mencakup kebutuhan air minum, irigasi, atau sebagai air proses untuk kepentingan kegiatan industri tertentu. Secara garis besar, dapat disimpulkan bahwa kualitas air yang dibutuhkan mesti memenuhi beberapa kriteria, salah satunya adalah kandungan polutan berbahaya harus dihilangkan atau tingkat polutan yang tidak diinginkan dijaga serendah mungkin, sesuai dengan baku mutu yang diamanatkan oleh peraturan resmi yang terkait (Martini *et al*., 2020).

Menurut Khedkar & Singh (2015) dalam penelitian (Sari & Rahmawati, 2020), Pembuangan air limbah industri secara langsung ke badan air tanpa pengolahan yang memadai dianggap sebagai faktor utama kerusakan lingkungan. Dampak buruk yang ditimbulkan meliputi bau menyengat, serta polusi pada media udara, tanah, dan khususnya air. Pembuangan limbah secara langsung tanpa didahului proses pengolahan akan memberikan dampak signifikan terhadap penurunan kualitas air. Apabila kualitas air tidak memenuhi standar mutu yang

ditetapkan, konsekuensinya akan merugikan kehidupan manusia dan sistem ekologi, selain juga dapat mengganggu estetika lingkungan karena timbulnya bau tak sedap. Masyarakat telah merasakan berbagai efek buruk dari limbah cair, terutama dalam bentuk gangguan kesehatan. Penyakit seperti Diare/Disentri, Hepatitis A, Pollo, Kolera, Tipus Abdominalis, Disentri Amoeba, Balantidiasis, dan Giardiasis sering muncul. Penyakit-penyakit ini disebabkan oleh mikroba patogen yang penyebarannya terjadi melalui air di lingkungan yang tercemar oleh limbah industri & rumah tangga. Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara tersendiri maupun terintegrasi. Adapun baku mutu air limbah industri adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair

No	**Parameter**	**Satuan**	**Baku Mutu Maksimum**	
			Golongan I	**Golongan II**
1	Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4000
2	Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
3	Ph	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
4	Total Nitrogen	mg/L	30	60
5	BOD_5	mg/L	50	150
6	COD	mg/L	100	300
7	Fenol	mg/L	0,5	1
8	Minyak & Lemak	mg/L	10	20
9	Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Sumber: (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014)

A.2 Faktor yang Mempengaruhi Limbah Cair

Limbah cair didefenisikan sebagai hasil dari kegiatan industri yang sudah tak terpakai. Faktor yang mempengaruhi dari adanya limbah cair yaitu:

1. Sumber dan Jenis Pencemar Dalam Limbah Cair

Berdasarkan klasifikasi sumbernya, pencemar limbah cair dapat dibedakan menjadi pencemar fisik, pencemar kimia (terdiri dari komponen organik dan anorganik), serta pencemar mikrobiologi (Suharto, 2011).

a. Sumber & Jenis Pencemar Fisik

Adapun sumber dan jenis pencemar fisik yang terdapat dalam limbah cair terdiri dari berbagai komponen, yaitu suhu, pH, warna, bau, dan total padatan tersuspensi. Komponen-komponen inilah yang menjadi sumber dan jenis polutan utama dalam aspek fisik limbah tersebut.

b. Sumber & Jenis Pencemar Kimia

Adapun sumber dan jenis pencemar kimia diklasifikasikan menjadi dua kelompok. Pencemar yang bersifat organik meliputi karbohidrat, protein, lemak, minyak, pelumas, serta parameter seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Organic Carbon* (TOC), *Total Oxygen Demand* (TOD), dan alkalinitas. Sementara itu, komponen anorganik yang mencemari limbah cair adalah logam berat, unsur nitrogen (N) dan fosfor (P), khlorida, sulfur, hidrogen sulfit, dan berbagai gas terlarut.

c. Sumber & Jenis Pencemar Mikrobiologi

Adapun sumber dan jenis pencemar mikrobiologi mencakup berbagai mikroba patogen, seperti Salmonella typhi, bakteri, alga, protozoa, virus (termasuk poliovirus dan virus hepatitis B), cacing parasit, dan coliform, yang dapat memicu penyakit seperti tipus, kolera, dan disentri.

2. Komponen air limbah

Siregar (2005) mengemukakan bahwa komponen air limbah yang bersumber dari senyawa kimia dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu: senyawa organik alami atau senyawa organik sintetik, bahan-bahan anorganik, dan gas. Adapun dasar penyusun senyawa organik meliputi unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor, dan sulfur.

Tiga kelompok utama senyawa organik meliputi protein (sekitar 40-60% bahan dasar sel hewan), karbohidrat (komponen utama penyusun sel tumbuhan), dan lipida (zat yang tidak larut dalam air). Sebagian besar senyawa ini ditemukan di air alam, sehingga keberadaannya harus diwaspadai karena berpotensi membahayakan dan bersifat toksik. Oleh sebab itu, kehadiran senyawa organik dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut, di samping memicu pembentukan berbagai substansi beracun.

A.3 Karakteristik Limbah Cair

Menurut Siregar (2005), karakter limbah cair secara fisik, kimia, biologi adalah sebagai berikut:

a. Karakter Limbah Cair Secara Fisik

Karakteristik fisik air limbah dapat diidentifikasi melalui beberapa parameter, yaitu suhu, bau, warna, dan total padatan tersuspensi. Suhu merupakan parameter krusial dalam pengoperasian unit pengolahan limbah (menggunakan skala °C dan °F), sebab suhu memengaruhi berlangsungnya proses biologi maupun fisik. Sementara itu, bau air limbah adalah parameter yang sifatnya subjektif, bergantung pada sensitivitas indra penciuman individu, di mana kehadiran bau mengindikasikan adarıya komponen lain di dalam air. Adapun warna pada limbah cair timbul akibat adanya materi terlarut (*dissolved*), tersuspensi (*suspended*), dan senyawa koloidal, yang dapat diukur berdasarkan spektrum warnanya. Terakhir, padatan dalam air limbah dapat dilasifikasikan menjadi empat jenis: padatan terapung (*floating*), padatan yang dapat mengendap (*settleable*), padatan tersuspensi (*suspended*), atau padatan terlarut (*dissolved*).

b. Karakter Limbah Cair Secara Kimia

Karakter kimia dari limbah cair ditentukan oleh keberadaan senyawa organik dan anorganik yang terkandung di dalamnya. Senyawa organik didefinisikan sebagai unsur karbon yang berikatan dengan satu atau lebih elemen lain seperti Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Hidrogen (H). Sementara itu, senyawa anorganik mencakup semua kombinasi unsur yang tidak tersusun dari karbon organik.

c. Karakter Limbah Cair Secara Biologi

Keberadaan bakteri di dalam limbah cair merupakan faktor penentu bagi efisiensi proses pengolahan biologis. Mikroorganisme tersebut dapat ditemukan dalam berbagai jenis dengan konsentrasi yang sangat tinggi, berkisar antara 10^5 hingga 10^8 organisme per mililiter (organisme/mL) pada hampir semua bentuk air limbah.

A.4 Sumber Limbah Cair

1. Limbah Cair Domestik

Seiring dengan laju peningkatan populasi dan pesatnya pembangunan, limbah cair rumah tangga kini menjelma menjadi tantangan besar. Bukti dari besarnya masalah ini datang dari data tahun 2014 yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup RI, yang menggarisbawahi bahwa mayoritas (60-70%) sungai di tanah air mengalami pencemaran akibat limbah domestik. Air limbah domestik yang tidak ditangani atau diolah dengan memadai berpotensi memicu berbagai macam masalah serius bagi kesehatan manusia dan ekosistem di sekitarnya (Asadiya, 2018). Berdasarkan pertimbangan tersebut, air limbah domestik wajib melalui proses pengolahan agar aman ketika dilepaskan ke lingkungan dan memungkinkan untuk digunakan kembali secara efisien bagi berbagai keperluan, seperti menyiram tanaman, mencuci kendaraan, serta kebutuhan lainnya.

Limbah cair domestik tidak terolah berasal dari air yang digunakan oleh manusia untuk kebutuhan sehari-hari, seperti air bekas mandi, cucian, dapur, dan toilet, serta air bekas dari aktivitas sehari-hari lainnya. Karena zat pencemarnya yang tinggi dan kandungan bahan organiknya, seperti karbohidrat, minyak, lemak, dan protein, limbah cair domestik dapat mencemari badan air (Yunita, 2023). Limbah cair domestik yang dihasilkan dari kegiatan rutin harian, seperti

penggunaan wastafel, toilet, dan dapur, telah menjadi isu lingkungan global, terutama di kawasan perkotaan dengan tingkat kepadatan populasi yang tinggi (Agustiani & Mirwan, 2024).

Air limbah domestik diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu air limbah toilet yang bersumber dari tangki septik (*septic tank*), dan air limbah non-toilet yang dihasilkan dari berbagai aktivitas rumah tangga. Limbah domestik sering langsung dibuang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan yang memadai. Kondisi ini menimbulkan ketidakjelasan mengenai apakah air limbah tersebut telah memenuhi standar kualitas yang diizinkan.

Air limbah domestik diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama meliputi tinja (*faeces*), yang berpotensi membawa bakteri patogen; air seni, yang umumnya mengandung unsur nitrogen dan fosfor, serta kemungkinan kecil mikroorganisme lainnya. Sementara itu, air hitam atau dapat disebut "*sullage"* merujuk pada air yang berasal dari kegiatan penggunaan mesin cuci, dan aktivitas di kamar mandi.

2. Limbah Cair Industri

Dibandingkan dengan limbah padat, limbah cair lebih tinggi dalam menyebabkan tingkat pencemaran. Karena jenis dan kuantitasnya, limbah cair merupakan produk limbah yang mengandung unsur beracun dan berbahaya yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Abidjulu, 2016).

Menurut Erwin & Iwan Muhammad (2010) dalam penelitian (Novitasari *et al*., 2018), Limbah cair industri didefinisikan sebagai sisa buangan berbentuk cairan yang berasal dari setiap tahapan proses produksi di suatu fasilitas industri. Limbah cair industri dihasilkan dalam jumlah yang lebih besar daripada limbah domestik, sehingga limbah industri menimbulkan dampak lingkungan yang lebih besar pula dibandingkan limbah rumah tangga. Setiap hasil pengolahan limbah cair harus dibatasi oleh kriteria tertentu yang ditetapkan, didefinisikan sebagai baku mutu. Kualitas air limbah diukur berdasarkan parameter-parameter yang ditetapkan dalam baku mutu yang dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik.

Menurut Basaran (2013); Wilson *et al*., (2012) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Limbah hasil industri menjadi salah satu persoalan serius di era industrialisasi. Oleh karena itu, regulasi tentang industrialisasi ramah lingkungan menjadi isu penting. Alasan yang mendasari dikarenakan limbah tidak hanya dari proses produksi tapi juga kelangsungan hidup. Oleh karena itu, pengolahan limbah harus dilakukan sedari dini ketika proses produksi terjadi. Menurut Xue *et al*., (2013); Mohanty (2012) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Pengolahan limbah harus dilakukan dari hulu sampai hilir karena jika ini tidak dilakukan maka ancaman terhadap pencemaran akan berakibat fatal.

Urgensi penanganan dan pengelolaan limbah hasil industri bahwa hasil produksi menimbulkan limbah yang rentan terhadap lingkungan, baik berupa limbah cair, padat atau bentuk limbah lainnya. Menurut Nasir & Fatkhurohman (2010) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Edukasi kepada pelaku usaha industri kecil terkait masalah penanganan dan pengelolaan limbah hasil usaha sangat penting. Persoalan mendasar penanganan dan pengelolaan limbah yaitu tentang minimnya pengetahuan pelaku usaha, terutama dari kelompok industri kecil. Hal ini kemudian menjadi pembenaran tentang rendahnya kesadaran dari pelaku usaha industri kecil terhadap manajemen penanganan dan pengelolaan limbah.

Persoalan lainnya yang terkait yaitu tidak adanya titik temu antara mereka yang dapat memanfaatkan limbah dengan industri yang menghasilkan limbah. Menurut Achillas *et al*., (2013) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Secara ekonomi sebenarnya semua limbah dapat diolah untuk memberikan manfaat sehingga memberikan nilai dan keuntungan ekonomi, yaitu tidak hanya bagi pelaku industri, tetapi juga bagi pihak yang berkepentingan terhadap limbah tersebut. . Menurut Nasir & Fatkhurohman (2010) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Dari beragam persoalan limbah dan relevansinya dengan pemanfaatan limbah, salah satu isunya yaitu penanganan dan pengelolaan limbah hasil industri kecil pembuatan tahu. Menurut Darsono (2007); Damayanti *et al*., (2004) dalam penelitian (Nasir & Handayani, 2015), Limbah cair yang dihasilkan dari industri kecil tahu di berbagai daerah potensial untuk dikembangkan menjadi energi alternatif untuk pemenuhan kebutuhan kegiatan rumah tangga dan lainnya.

Parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas air limbah dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama yaitu organik dan fisik. Parameter organik mencakup *Total Organic Carbon* (TOC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan kadar minyak. Sementara itu, karakteristik fisik air limbah dinilai berdasarkan *Total Suspended Solids* (TSS), derajat keasaman (pH), suhu (temperatur dalam Celcius), tingkat kekeruhan (*turbidity*), bau, dan potensial reduksi. Sebagai acuan kualitas lingkungan, standar hasil pengolahan limbah atau yang dikenal sebagai baku mutu untuk sektor industri, telah ditetapkan secara resmi oleh Kementerian Lingkungan Hidup.

Pencemaran yang berasal dari limbah industri secara signifikan mengancam ketersediaan air bersih yang esensial untuk konsumsi manusia, kegiatan pertanian, serta sektor industri yang memerlukan air baku dengan memenuhi standar mutu yang ditetapkan (Gbadegesin & Akintola, 2020; Berhe, 2020). Sektor industri merupakan penyumbang signifikan terhadap pencemaran di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS). Kontribusi ini berasal dari pembuangan berbagai bahan pencemar ke badan air, termasuk logam berat, lumpur beracun, dan limbah berbahaya lainnya. Data menunjukkan bahwa hampir 80% dari total limbah yang dilepaskan ke lingkungan sekitar tidak melalui proses perlakuan atau pengolahan air limbah yang memadai.

Menurut Efendi *et al*. (2019), Industri Kecil dan Menengah (IKM) adalah salah satu fokus utama pemerintah untuk membuka lapangan pekerjaan. Peran ini menjadi sangat krusial, khususnya pada periode yang mengikuti krisis ekonomi. Menurut Halim (2020), inisiatif Industri Kecil dan Menengah (IKM) memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan taraf hidup komunitas lokal dan menciptakan lapangan kerja, khususnya di area pedesaan. Namun aktivitas IKM tersebut tidak terlepas dari dampak buruk, yaitu timbulnya limbah hasil kegiatan operasional tersebut. Limbah yang tidak dikelola secara optimal akan mengakibatkan pencemaran (Pagoray *et al*., 2021).

3. Limbah Cair Pertanian

Limbah hasil pertanian didefinisikan sebagai material buangan yang dihasilkan dari berbagai tahapan perlakuan atau pemrosesan yang bertujuan untuk mendapatkan produk utama serta produk turunan. Defenisi limbah industri hasil pertanian merujuk pada produk sampingan dari suatu rangkaian proses industri yang belum memiliki nilai ekonomis, serta keberadaannya dibatasi oleh ruang dan waktu. Kedua istilah tersebut mempunyai pengertian yang sama sebab sesuatu yang dikategorikan sebagai buangan belum memiliki nilai ekonomis (Rusmono *et al*., 2020).

Limbah cair pertanian merupakan buangan cair yang dihasilkan dari berbagai aktivitas dalam sektor budidaya dan peternakan. Komponen utama limbah ini sangat ditentukan oleh input dan proses yang digunakan. Secara umum, limbah cair pertanian mengandung residu pupuk dan pestisida dari kegiatan budidaya tanaman. Selain itu, air limbah dari sistem irigasi, sisa pencucian hasil panen (seperti air cucian buah kopi dan cokelat), serta limbah dari proses pengolahan hasil pertanian juga menjadi penyumbang besar. Dalam sektor peternakan dan perkebunan, limbah cair dapat berupa buangan yang kaya bahan organik seperti kotoran hewan dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dari pabrik kelapa sawit.

Limbah cair pertanian kaya akan kandungan pencemar yang berasal dari residu input pertanian dan proses pengolahan, termasuk residu pupuk dan pestisida, serta kotoran hewan dari peternakan. Kandungan organik yang tinggi ini menyebabkan mikroorganisme berkembang biak pesat, yang secara tidak langsung meningkatkan nilai parameter seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada perairan. Pembuangan limbah tanpa perlakuan yang memadai ini dapat menyebabkan degradasi air dan merugikan pemanfaatan air penerima. Secara spesifik, larutan sisa pupuk dan pestisida dapat merusak ekosistem sungai dan menimbulkan bahaya yang tidak dapat dipulihkan, selain menghasilkan bau busuk yang mengganggu lingkungan sekitar jika larut dalam air dalam waktu yang lama.

A.5 Dampak Limbah Cair Bagi Lingkungan dan Kesehatan Manusia

Menurut Soeparman & Suparmin (2002) dalam penelitian (Umroningsih, 2022), Limbah cair didefinisikan sebagai sisa buangan berbentuk cairan dari aktivitas industri yang dilepaskan ke lingkungan dan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Menurut Kaswinarni (2007) dalam penelitian (Umroningsih, 2022), Limbah cair didefinisikan sebagai buangan industri dalam wujud cairan yang memiliki kandungan padatan tersuspensi atau terlarut yang kemudian melewati 7 tahapan proses perubahan, baik secara fisik, kimia, maupun biologi, yang akhirnya menghasilkan zat beracun dan berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan, penyakit, serta kerusakan lingkungan.

1. **Bagi Lingkungan**

   Apabila limbah cair tidak diolah akan berdampak buruk pada lingkungan, termasuk:

   a. Penurunan Dissolved Oxygen (DO): Pembuangan bahan organik ke badan air akan mengurangi bahkan menghabiskan persediaan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*). Penurunan DO ini mengakibatkan perubahan susunan organisme air. Jika DO turun drastis (di bawah 2 mg/l), semua ikan akan menghilang, dan lingkungan akan didominasi oleh organisme anaerobik.
   b. Degradasi Air dan Pencemaran: Kontaminasi yang disebabkan oleh limbah (termasuk residu pupuk dan pestisida dari pertanian, serta logam berat dari industri) membuat pemanfaatan air penerima tidak lagi menguntungkan, bahkan merugikan. Kehadiran bahan pencemar dalam jumlah besar dapat mengakibatkan bahaya yang tidak dapat dipulihkan.
   c. Gangguan Keseimbangan Oksigen Perairan: Pembuangan bahan organik mengurangi persediaan oksigen terlarut (Dissolved Oxygen), yang mengakibatkan perubahan susunan organisme air.
   d. Kematian Flora dan Fauna Air: Mengganggu kehidupan dalam air dan dapat mematikan hewan serta tumbuhan air.
   e. Masalah Bau dan Estetika: Menimbulkan bau tidak sedap sebagai hasil dekomposisi zat anaerobik dan anorganik.

2. **Bagi Kesehatan Manusia**

Apabila limbah cair tidak diolah akan berdampak buruk pada kesehatan manusia, termasuk:

a. Penyakit dan Vektor: Air limbah mengandung bibit penyakit yang dapat menimbulkan penyakit bawaan air (*waterborne diseases*). Selain itu, air limbah yang tidak dikelola dengan baik dapat menjadi sarang vektor penyakit (misalnya nyamuk, lalat, kecoa, dan lain-lain). Vektor penyakit seperti molusca dan insekta berkembang biak dalam limbah domestik, yang dapat menyebabkan berbagai penyakit air yang disebut penyakit air. Schistosomiasis, demam berdarah (DB), malaria, dan diare adalah beberapa penyakit yang dapat membahayakan manusia dan makhluk hidup lainnya.
b. Keracunan Senyawa Toksik: Pada air limbah, terdapat zat berbahaya dan beracun yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi makhluk hidup yang mengkonsumsinya. Senyawa toksik dapat menyebabkan kematian dan penderitaan manusia. Contoh keracunan yang spesifik adalah akibat logam berat atau pestisida dalam air minum.
c. Bahaya Bakteri dan Kimia: Keberadaan limbah cair yang mengandung zat kimia atau bakteri pada lingkungan air membahayakan kesehatan masyarakat setempat. Kondisi ini berpotensi menyebabkan berbagai penyakit dan memunculkan masalah kesehatan lain di kalangan masyarakat tersebut.
d. Gangguan Kesehatan Akibat Bakteri dan Zat Kimia: Secara umum, masyarakat yang tinggal di lingkungan air tercemar limbah cair (mengandung zat kimia atau bakteri) dapat mengalami penyakit dan masalah kesehatan lainnya.

B. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai materi polutan melalui metode kimia. Pengukuran nilai COD didasarkan pada jumlah oksigen yang dikonsumsi selama berlangsungnya reaksi kimia tersebut. COD adalah indikator kunci untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran air oleh senyawa-senyawa kimia mencakup polutan industri, bahan kimia beracun serta bahan organik yang sulit diuraikan secara biologis. Semakin tinggi nilai COD yang terdapat di dalam air maka semakin buruk kualitas perairan tersebut (Ristiyanto, 2020).

Salah satu parameter uji pada air limbah yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Duan *et al*., 2022). Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah parameter yang menunjukkan total oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme saat mengoksidasi bahan organik yang dapat diuraikan dengan bantuan zat pengoksidasi kuat (Han *et al*., 2022). Nilai pengukuran COD menjadi indikator yang menetapkan jumlah bahan organik di dalam air (Xu *et al*., 2023). Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*), diantaranya metode refluks terbuka dan refluks tertutup (Lambertz *et al*., 2023).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter yang digunakan untuk menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan secara kimia untuk mengoksidasi seluruh bahan organik dan anorganik yang terdapat di dalam air atau limbah cair menjadi senyawa yang lebih stabil, seperti karbon dioksida dan air. Pengujian COD menggunakan oksidator kuat, umumnya kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam, untuk memecah senyawa-senyawa yang sulit diuraikan secara biologis. Nilai COD yang tinggi menunjukkan adanya kandungan bahan pencemar yang besar, baik yang mudah maupun sulit terurai secara biologis.

Parameter COD sangat penting dalam analisis kualitas limbah cair karena dapat memberikan gambaran total tingkat pencemaran, termasuk senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (*non-biodegradable*). Hal ini berbeda dengan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) yang hanya mengukur kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme.

Dengan demikian, COD sering digunakan untuk mengestimasi potensi pencemaran secara menyeluruh, serta membantu menentukan efisiensi proses pengolahan limbah.

Limbah cair dengan nilai COD tinggi dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut di badan air penerima. Kondisi ini mengganggu kehidupan organisme akuatik, terutama ikan dan biota lain yang membutuhkan oksigen. Selain itu, bahan pencemar yang sulit terurai dapat terakumulasi di lingkungan, memicu pencemaran jangka panjang. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair yang efektif diperlukan untuk menurunkan nilai COD hingga memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke perairan.

B.1 Dampak *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD merupakan salah satu parameter kunci yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi kadar COD, maka semakin buruk pula kualitas air yang ada (Andara & Suryanto, 2014). Dalam kondisi reaksi dengan oksigen, sekitar 85% materi organik yang terdapat dalam air berhasil dioksidasi menjadi CO2 dan H2O di suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak seluruh zat organik dapat diuraikan oleh bakteri.

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah total kebutuhan atau jumlah oksigen dalam ppm atau miligram per liter yang dibutuhkan untuk mengurai kandungan organik maupun anorganik dalam air (Putri *et al*., 2023). Tingginya nilai COD disebabkan adanya degradasi bahan organik maupun anorganik dari limbah yang dihasilkan. Dampak dari tingginya kandungan COD dalam limbah dapat mengakibatkan tidak adanya kehidupan biota air (Putri *et al*., 2023).

Hasil dari pengukuran COD memiliki keterbatasan karena hasilnya tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. Angka COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat mengalami oksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Estikarini *et al*., 2016). Semakin tinggi COD, maka semakin rendah kandungan oksigen terlarut di dalam air.

Apabila kadar oksigen terlarut berkurang menyebabkan hewan-hewan yang menempati perairan tersebut akan mati. Serta jika kadar BOD dan COD meningkat mengakibatkan perairan menjadi tercemar (Hilda Zulkifli, 2009).

Dalam rangka untuk melestarikan lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi makhluk hidup lainnya diperlukan tindakan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair ke media lingkungan. Kegiatan pembuangan limbah cair oleh kawasan industri berpotensi besar menimbulkan pencemaran lingkungan hidup, maka dari itu perlu dilakukan pengendalian. Untuk melaksanakan pengendalian pencemaran air seperti yang telah ditetapkan dalam Pasal 15 Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, diperlukan penetapan lebih lanjut baku mutu limbah cair industri. Kawasan Industri merupakan kawasan tempat pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan sarana prasarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh Perusahaan Kawasan industri yang sudah memiliki Izin Usaha Kawasan Industri (Atima, 2015).

C. Fitoremediasi sebagai Metode Pengolahan Limbah

C.1 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan salah satu metode alternatif yang tersedia untuk memulihkan lingkungan tercemar, yang dapat digunakan untuk air, tanah, maupun udara yang tercemar. Fitoremediasi merupakan suatu metode untuk menghilangkan atau meminimalisasi kadar polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi dengan menggunakan bantuan tumbuhan. Fitoremediasi merupakan teknologi yang dapat menggunakan tumbuhan untuk memulihkan tanah atau daerah yang terkontaminasi limbah (Amelia, 2017). Teknologi ini dapat ditunjang dengan adanya perbaikan menggunakan media tumbuh dan ketersediaan mikroba yang ada di tanah untuk meningkatkan efisiensi dalam proses degradasi bahan polutan dialirkan ke seluruh bagian tumbuhan, sehingga air menjadi bersih dari polutan (Malik & Surtikanti, 2016).

Fitoremediasi sebagai salah satu metode pemulihan lingkungan memiliki kelebihan dan kelemahan. Kelebihan dari fitoremediasi adalah prosesnya dapat dilakukan secara insitu dan eksitu, mudah diterapkan dan tidak membutuhkan biaya

yang tinggi, menjadi teknologi yang ramah lingkungan dan bersifat estetik bagi lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar. Kelemahan dari fitoremediasi adalah membutuhkan waktu proses yang relatif lama, bergantung pada keadaan iklim, dapat mengakibatkan terjadinya akumulasi logam berat pada biomasa tumbuhan dan jaringan serta dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Caroline dan Moa, 2015).

Fitoremediasi merupakan teknologi pelengkap atau alternatif yang dapat digunakan bersama dengan atau menggantikan teknologi pembersihan konvensional mekanis yang umumnya membutuhkan input modal tinggi, tenaga kerja serta energi (Chandra *et al*., 2016). Fitoremediasi adalah sebuah alternatif pengolahan menggunakan media tanaman untuk menurunkan suatu kadar zat kontaminan tertentu yang terdapat pada suatu lingkungan (Imron, 2018). Pengolahan menggunakan media tanaman untuk menurunkan suatu kadar zat kontaminan tertentu yang terdapat pada suatu lingkungan (Imron, 2018). Selain itu, dari beberapa penelitan alternatif pengolahan ini dapat mengurangi zat pencemar pada limbah dalam jumlah yang cukup besar.

Fitoremediasi adalah metode pengolahan limbah yang memanfaatkan tumbuhan air untuk mengurangi jumlah pencemar dengan cara menyerap, mengumpulkan dan mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat dalam limbah tersebut. Fitoremediasi memiliki keuntungan yaitu tidak membutuhkan biaya yang tinggi, perawatan lebih mudah, tingkat efisiensi cukup tinggi dalam menghilangkan zat pencemar dan, sangat ekonomis bagi industri khususnya di skala rumah tangga seperti industri tempe dibandingkan dengan metode pengolahan limbah yang lain (Suharto *et al*., 2013).

Pada metode fitoremediasi, tumbuhan air berperan penting untuk mereduksi bahan pencemar pada limbah cair. Tidak semua tanaman dapat digunakan, karena tidak semua tanaman dapat melakukan metabolisme, penguapan, dan akumulasi semua polutan menggunakan mekanisme yang sama. Untuk menentukan tanaman yang dapat digunakan pada fitoremediasi, dipilih tanaman yang mempunyai karakteristik: cepat tumbuh, mengkomsumsi air dalam jumlah banyak secara singkat dan meremediasi lebih dari satu polutan (Nur, 2013). Determinasi

tumbuhan untuk fitoremediasi yaitu tumbuhan yang memiliki ukuran relative sama (Djo *et al*., 2017).

Salah satu upaya untuk mengurangi kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) antara lain secara proses biologi dengan menggunakan tanaman yang dikenal dengan proses phytoremediation, sebuah kata yang berasal dari bahasa Yunani, kata *phyto* berarti "tanaman" dan kata remediare berarti "untuk memperbaiki". Penerapan fitoremediasi untuk mengatasi berbagai macam pencemaran air dan tanah. Keunggulannya yaitu proses yang ramah lingkungan, aman, terjangkau dan bahkan dapat diterapkan untuk pengolahan pada limbah radioaktif. Keterbatasan dari fitoremediasi antara lain, memakan waktu atau proses yang relatif lama, polutan yang terkandung di dalam air atau tanah harus berada pada jangkauan akar tanaman. Oleh karena itu, diperlukan area pengolahan yang luas.

C.2 Tumbuhan Fitoremediasi

1. Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Pada konteks upaya keberlanjutan, tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) menjadi agen fitoremediasi yang efektif dapat diterapkan untuk mengurangi kontaminan dalam limbah cair, menunjukkan strategi yang ramah lingkungan. Upaya pengelolaan limbah industri pabrik kerupuk dapat dilakukan melalui fitoremediasi, yang melibatkan penggunaan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) untuk menguji efektivitas penurunan kadar COD dalam limbah tersebut (Atma *et al*., 2022);(Carollina, 2022).

Menurut Lidiawati & Tusani (2009) dalam penelitian (Ahmad & Adiningsih, 2019), Eceng Gondok (Eichornia crassipes) diklasifikasikan sebagai gulma air yang ditandai dengan kemampuan regenerasi yang sangat tinggi. Bagian dari eceng gondok yang kontak langsung dengan aliran air akan berkembang menjadi eceng gondok dewasa. Tanaman eceng gondok menunjukkan kemampuan adaptasi yang optimal untuk tumbuh subur dalam air limbah yang memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Secara morfologi, salah satu ciri khas tanaman eceng gondok adalah memiliki tudung akar dan rambut akar yang

mencolok. Akar tersebut berfungsi untuk menyerap atau mengisap makanan di dalam air.

Menurut Sriyana (2006) dalam penelitian (Ahmad & Adiningsih, 2019), Eceng gondok memiliki kemampuan menyerap zat organik melalui ujung akar.zat organik yang terserap dan masuk ke dalam batang. Dalam proses tersebut, terjadi reaksi biologis pada zat organik yang kemudian terakumulasi di bagian batang tanaman dan didistribusikan ke daun. Menurut Coetzee & M.H. Julien (2009) dalam penelitian (Ahmad & Adiningsih, 2019), Laju pertumbuhan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) selama 28 hari lebih cepat dibandingkan dengan tanaman lainnya karena eceng gondok mempunyai kemampuan dalam menyerap nutrisi serta zat-zat lainnya. Tanaman eceng gondok ini dapat tumbuh dengan cepat dua kali lipat pada kondisi yang sesuai setiap 11- 18 hari.

Pertumbuhan eceng gondok yang pesat dan kemampuannya menutupi permukaan perairan mampu menyerap bahan pencemar seperti zat organik, zat anorganik dan logam berat (Djo *et al*., 2017). Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki kemampuan untuk menyerap bahan organik pada air dengan bagian tanamannya, serta Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki batang yang berongga dan daun lebar, oleh karena itu tanaman ini memiliki penyerapan limbah cair yang tinggi serta efektif dalam penyerapan zat beracun.

Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) merupakan salah satu tanaman air yang potensial untuk dimanfaatkan dalam penghilangan kontaminan melalui teknologi fitoremediasi. Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes) mampu menyerap kontaminan organik dan anorganik. Penambahan aerasi dalam proses fitoremediasi mampu membantu mempercepat proses penyerapan polutan yang ada pada air limbah. Eceng gondok adalah gulma air karena perkembangannya yang begitu cepat. Karena perkembangan yang cepat tersebut, eceng gondok dapat menutupi permukaan air dan menimbulkan masalah pada lingkungan. Namun disisi lain, eceng gondok berpotensi mampu menyerap bahan pencemar seperti zat organik, zat anorganik serta logam berat.

Eceng gondok juga diklasifikasikan sebagai tumbuhan yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam berat karena memiliki kemampuan membentuk fitokelatin dimana senyawa peptide yang dihasilkan oleh tanaman ini mampu mengikat logam berat dalam konsentrasi tinggi (Setyowati *et al*., 2015).



Gambar 2.1 Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)
Sumber: E-Book Potensi Eceng Gondok Sebagai Bahan Organik Biogas (Dwiputranto *et al*., 2023)

2. Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Tanaman lain yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) yang mempunyai sifat sangat toleran terhadap kontaminan air dengan nutrisi tinggi dari air limbah industri serta air tercemar lainnya dan sebagai tumbuhan hiperakumulator yang berarti tumbuhan ini dapat mengakumulasi logam berkonsentrasi tinggi pada jaringan tajuk dan akarnya.

Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tanaman yang berpotensi sebagai agen fitoremediasi dalam upaya meminimalisir kontaminan yang terdapat pada limbah cair (Rismawati *et al*., 2020). Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) memiliki akar serabut dengan rambut akar yang lebat, membuat tanaman ini mudah untuk menyerap dan menampung polutan yang mencemari air (Umairah *et al*., 2020). Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) mempunyai keahlian untuk mengolah limbah berupa zat organik, zat anorganik dan logam berat, serta dapat menurunkan kadar BOD dan COD pada limbah (Mediapro, 2021). Seperti contoh penggunaan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebagai fitoremediator mampu mengurangi kontaminan yang berada pada kandungan limbah cair tempe (Rohmawati *et al*., 2016).

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) adalah salah satu tumbuhan fitoremediator yaitu tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Manfaat tumbuhan air seperti kayu apu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dalam limbah dapat dilakukan dengan proses fitoremediasi (Mamonto, 2013). Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) merupakan salah satu tumbuhan fitoremediator dikarenakan mampu mencengkeram lumpur dengan berkas akarnya dan menyerap kelebihan zat hara yang dapat menyebabkan pencemaran. Penyerapan ini terjadi karena adanya zat phythocelatin atau khelat yang diekskresikan oleh jaringan akar kayu apu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari penggunaan tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dalam menurunkan kadar COD pada limbah industri.

Kayu apu (*Pistia stratiotes*) adalah salah satu jenis tumbuhan gulma yang mudah berkembang biak pada air. Dengan pesatnya perkembangbiakan itu, menjadi salah satu pertimbangan penggunaan kayu apu sebagai agen dalam fitoremediasi (Rahadian, 2017). Dipilihnya tumbuhan kayu apu karena tumbuhan ini memiliki potensi dalam mengolah limbah, berupa zat organik maupun anorganik dan logam berat dengan bantuan bakteri aktif rhizosfer. Mikroorganisme rhizosfer adalah kelompok mikroorganisme yang hidup bersimbiosis di area sekitar akar tumbuhan, baik tumbuhan pada habitat air atau tanah, yang keberadaannya sangat bergantung pada akar tersebut (Azmin *et al*., 2021). Mikroorganisme rhizosfer ini memiliki keahlian melakukan penguraian terhadap zat organik dan anorganik yang terdapat pada limbah (Rismawati *et al*., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas tumbuhan kayu apu dalam menurunkan kandungan COD pada air limbah dengan menggunakan fitoremediasi.

Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) adalah tanaman air yang umumnya dianggap sebagai gulma air oleh masyarakat karena populasinya yang tinggi. Di sisi lain tumbuhan ini dapat memberi keuntungan bagi perairan yang tercemar. Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) adalah salah satu gulma air yang sangat cepat tumbuh dan mudah beradaptasi dengan lingkungan baru. Tanaman ini dapat dimanfaatkan karena memiliki potensi dalam penyerapan unsur-unsur toksik pada air limbah.

Tanaman ini akan menyerap unsur-unsur hara yang terlarut di dalam air melalui akar-akarnya. Berdasarkan studi terdahulu, tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) mampu menyisihkan COD sebesar 96%, BOD sebesar 98% dan fosfat sebesar 99% (Raissa, 2017).

Berdasarkan penjelasan dari beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan teknologi fitoremediasi pada limbah cair industri terutama pada industri pangan seperti industri tempe dan tahu, limbah cair dari industri kerupuk merupakan limbah industri yang bahan bakunya berupa bahan pangan dan bahan organik dapat memicu tumbuhnya mikroba secara cepat di perairan. Hal tersebut memicu penurunan kandungan oksigen air secara tajam, setelah itu limbah cair yang dihasilkan.

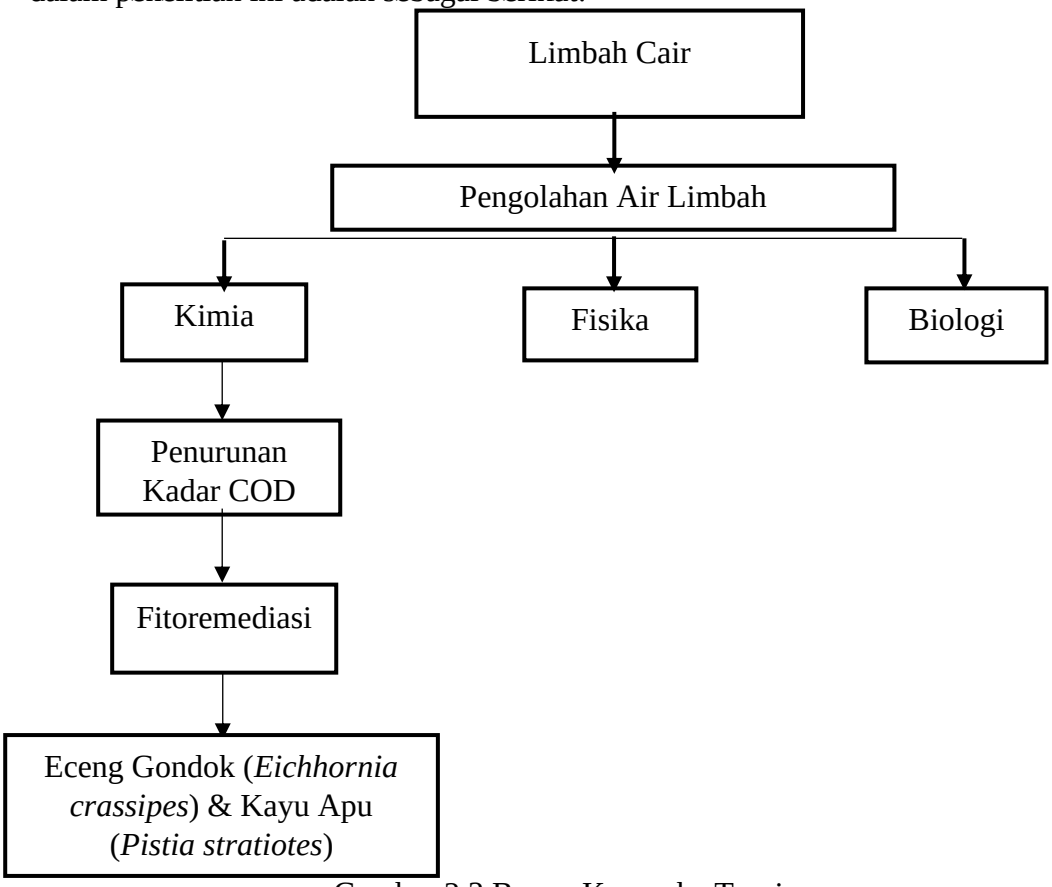


Gambar 2.2 Kayu Apu (Pistia stratiotes)

Sumber: E-Book Tanaman Pepohonan Untuk Menjernihkan & Menetralisir Air Limbah Beracun Berbahaya Dari Kawasan Perairan Laut Sungai Danau (Jannah Firdaus Mediapro, 2021)

D. Kerangka Teori

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka, adapun kerangka teori dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

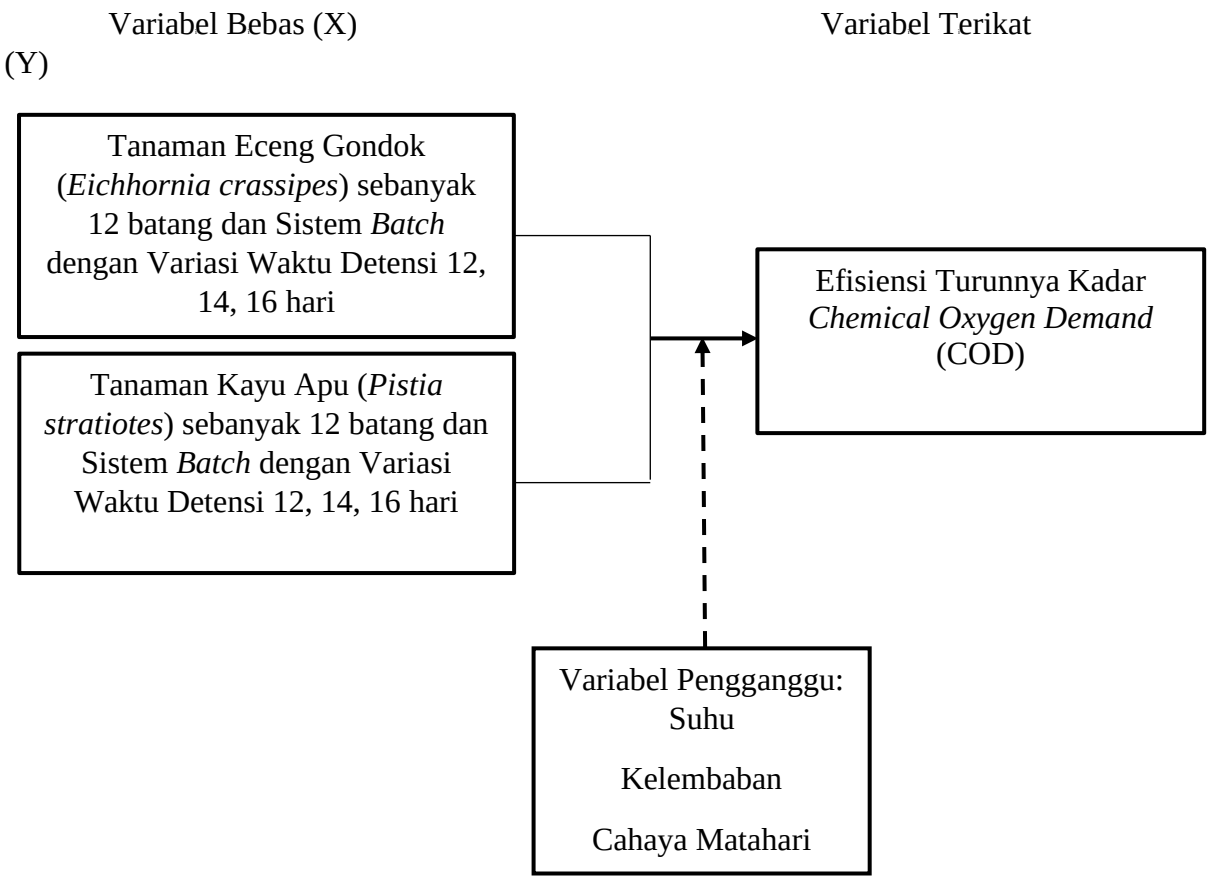


Gambar 2.3 Bagan Kerangka Teori

Sumber: Buku Vincent Gaspersz (Gaspersz, 2012) dan Jurnal (Shatriadi, 2019)

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). Dalam penelitian ini terdapat variabel bebas yaitu penelitian menerapkan tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebanyak 12 batang serta tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) sebanyak 12 batang, menggunakan sistem aliran *batch* dan menggunakan variasi waktu detensi 10, 12, 14 hari. Variabel terikat pada saat meneliti yaitu efisiensi turunnya kadar COD.



Gambar 2.4 Bagan Kerangka Konsep

Keterangan:

Diteliti : ——►

Tidak diteliti : - - - - - ►

F. Hipotesis Penelitian

H_0 = Tidak ada pengaruh Tanaman Eceng Gondok *(Eichhornia crassipes*) & Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) terhadap Kadar COD

H_a = Ada pengaruh Tanaman Eceng Gondok *(Eichhornia crassipes*) & Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) terhadap Kadar COD

G. Definisi Operasional

Tabel 2.2 Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat ukur	Hasil ukur	Skala ukur
1	Limbah Cair Industri Rumahan Kerupuk	Air sisa kegiatan industri rumahan kerupuk, diambil dari Lokasi di Pematangsiantar yang digunakan Sebagai media pengujian fitoremediasi sebanyak 10 liter/reaktor.	Jerigen	mL	Rasio
2	Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)	Tanaman air yang digunakan sebagai agen fitoremediasi, dipilih berdasarkan kesamaan karakter fisik (lebar/panjang daun, panjang batang) sebanyak 12 batang dan telah diaklimatisasi dalam air selama 7 hari.	-	Batang	Nominal
3	Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)	Tanaman air yang digunakan sebagai agen fitoremediasi, dipilih berdasarkan kesamaan karakter fisik (lebar/panjang daun, panjang batang) sebanyak 12 batang dan telah diaklimatisasi dalam air selama 7 hari.	-	Batang	Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat ukur	Hasil ukur	Skala ukur
4	Reaktor Fitoremediasi	Wadah bak dengan ukuran bak reaktor berbahan plastik serta volume kerja 10 Liter yang dioperasikan secara *batch* (tanpa aliran kontinu).	Meteran	Cm	Rasio
5	Waktu Detensi (Waktu Kontak)	Lama waktu kontak antara limbah cair dengan tanaman fitoremediator dalam sistem *batch*. Variasi waktu ini digunakan adalah 12 hari, 14 hari dan 16 hari untuk mengamati efektivitas penurunan COD.	Kalender	Hari	Interval
6	Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*)	Jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh materi organik dan anorganik dalam limbah cair secara kimiawi. Diukur sebelum perlakuan (Hari ke-0) dan setelah perlakuan (Hari-12, 14 dan 16).	COD Reactor, Spektro foto meter	mg/L	Rasio
7	Efektivitas Fitoremediasi	Efektivitas didefinisikan sebagai ukuran keberhasilan suatu perlakuan dalam mencapai target tertentu, yang secara teknis dihitung melalui persentase efisiensi penyisihan berdasarkan perbandingan nilai antara pengukuran awal	Rumus Efisiensi (%)	Efektif bila Ha diterima yaitu >95%.	Rasio

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat ukur	Hasil ukur	Skala ukur
		(*pretest*) dan pengukuran akhir (*posttest*).			