

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pencemaran Air**

##### **1. Definisi Pencemaran Air**

Pencemaran air dijelaskan sebagai masuknya komponen-komponen yang bercampur dengan air yang mengakibatkan penurunan kualitas air (Susanto *et al.*, 2021; dalam Dewi, L 2024). Pencemaran air merujuk pada perubahan keadaan di lokasi penampungan air seperti danau, sungai, lautan, dan air tanah yang disebabkan oleh aktivitas manusia (Mildawati, R. dkk, 2022).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air tersebut melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan. Pencemaran air merujuk pada kondisi di mana air menjadi terkontaminasi atau tercemar oleh bahan-bahan yang merugikan bagi lingkungan, organisme hidup, atau manusia. Pencemaran air dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk limbah industri, pertanian, domestik, dan aktivitas manusia lainnya.

##### **2. Sumber Pencemaran Air**

Sumber pencemar merujuk pada asal atau titik di mana polutan dilepaskan ke dalam lingkungan. Sumber ini bisa berasal dari aktivitas alami

maupun manusia, dan mereka dapat melepaskan berbagai jenis polutan seperti bahan kimia, partikel, atau energi berbahaya ke dalam air, udara, atau tanah. Perubahan lingkungan dapat terjadi tergantung pada jumlah dan tingkat toksisitas limbah yang dilepaskan ke lingkungan, serta kapasitas media lingkungan dalam menampung limbah untuk mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan (Suyasa, W. B., 2014; dalam Dewi, L 2024).

a. Limbah Industri

Limbah industri adalah istilah yang mengacu pada sisa atau bahan buangan yang dihasilkan selama proses produksi di sektor industri. Limbah ini dapat berupa padat, cair, atau gas, dan sering mengandung bahan kimia atau zat yang memiliki potensi merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa industri juga membuang limbah mereka ke dalam perairan, yang dapat menghasilkan polutan yang bervariasi tergantung pada jenis industri tersebut. Polutan tersebut dapat berwujud polutan organik (dengan aroma busuk), polutan anorganik (berbuih dan berwarna), atau mungkin polutan yang mengandung asam belerang (dengan aroma busuk) atau suhu (yang mengakibatkan peningkatan suhu air). Pemerintah telah menetapkan aturan untuk mengendalikan pencemaran air oleh limbah industri dengan mewajibkan pengolahan limbah sebelum dibuang ke sungai, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran (Winarni, I. 2016).

b. Limbah Pertanian

Limbah dari sektor pertanian dapat mengandung zat pencemar seperti insektisida atau pupuk organik. Insektisida dapat membahayakan biota di sungai, dan jika biota tersebut tidak mati dan kemudian dikonsumsi oleh hewan atau manusia, dapat menyebabkan keracunan. Oleh karena itu, upaya dilakukan untuk menggunakan insektisida yang berspektrum sempit dan mudah terurai secara alami (*biodegradable*) dan melakukan prosedur penyemprotan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Pupuk organik yang larut dalam air dapat mengakibatkan eutrofikasi lingkungan air, kondisi ini membuat air kaya akan nutrisi yang memicu pertumbuhan ganggang dan tumbuhan air (*blooming*) yang berlebihan. Hal ini dapat mengancam keberlanjutan bendungan, karena pertumbuhan yang berlebihan dapat menyebabkan pendangkalan cepat di sekitar bendungan dan berpotensi menyebabkan kematian biota (Winarni, I. 2016).

c. Limbah Rumah Tangga

Limbah rumah tangga terdiri dari limbah domestik yang meliputi sampah organik, sampah anorganik, dan deterjen. Ketika sampah organik dibuang ke sungai dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut karena sebagian besar diuraikan oleh bakteri selama proses pembusukan. Jika sampah anorganik dibuang ke sungai, hal tersebut dapat menghalangi penetrasi sinar matahari, sehingga menghambat proses fotosintesis pada tumbuhan air dan alga yang

berperan dalam menghasilkan oksigen. Sementara itu, deterjen merupakan limbah pemukiman yang memiliki potensi besar untuk mencemari air (Winarni, I. 2016).

### **3. Dampak Pencemaran Air**

#### **a. Dampak Terhadap Kehidupan Biota Air**

Kehadiran zat pencemar pada air limbah dapat mengakibatkan berkurangnya kadar oksigen terlarut, mengganggu kehidupan organisme yang memerlukan oksigen, dan mengurangi kelangsungan hidup serta pertumbuhan mereka. Bahkan, keberadaan zat pencemar di lingkungan perairan dapat menyebabkan kepunahan spesies. Kematian biota perairan, seperti ikan dan tumbuhan air, juga dapat disebabkan oleh keberadaan zat-zat beracun. Kematian bakteri juga dapat menghambat proses alami penyaringan air limbah. Selain itu, polusi termal dari limbah juga dapat mengganggu kehidupan biota perairan (Suyasa, W. B. 2014).

#### **b. Dampak Terhadap Kualitas Air Tanah**

Polutan akan menyerap ke dalam tanah melalui pori-pori tanah, dan proses peresapan ini akan membuat tanah menjadi jenuh. Akibatnya, kualitas air tanah yang merupakan salah satu sumber air bersih yang paling banyak digunakan oleh masyarakat akan terganggu (Suyasa, W. B. 2014).

c. Dampak Terhadap Kesehatan

Dampak kesehatan sangat bergantung pada kualitas air, karena air merupakan media penyebaran penyakit. Penyakit dapat menular melalui berbagai cara, termasuk air yang menjadi habitat bagi mikroba, menjadi sumber penyebaran penyakit, dan berkurangnya jumlah air yang menyebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan manusia untuk kebersihan diri. Di Indonesia, terdapat beberapa penyakit yang dikategorikan sebagai *waterborne diseases* atau penyakit yang ditularkan melalui air. Penyakit-penyakit ini dapat menyebar jika mikroba yang menjadi penyebabnya berhasil mencapai sumber air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Bakteri, protozoa, dan virus merupakan beberapa jenis mikroba yang dapat menyebar melalui air (Suyasa, W. B. 2014).

Air limbah merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia karena mengandung zat kimia berbahaya dan berperan sebagai media penyebaran bakteri patogen. Beberapa penyakit umum yang mungkin terjadi meliputi kolera, radang usus, disentri, hepatitis, dan penyakit lainnya yang biasanya disebabkan oleh bakteri atau virus. Beberapa zat kimia berbahaya termasuk krom yang dapat menyebabkan kanker kulit, sulfida yang menghasilkan bau menyengat, sianida yang dapat menyebabkan keracunan atau bahkan kematian, dan berbagai unsur atau senyawa berbahaya lainnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Sholichin, M. 2012).

#### d. Dampak Terhadap Estetika Lingkungan

Proses industri menghasilkan produk sampingan berupa limbah atau bahan buangan, dan jumlah limbah yang dihasilkan cenderung sejalan dengan tingkat aktivitas produksi. Limbah dapat diolah melalui proses pengendapan sebagai langkah awal pemisahan zat padat dari cairan, namun metode ini dapat menimbulkan bau yang tidak sedap akibat pembusukan bahan organik yang terperangkap selama pengendapan. Penumpukan limbah juga memerlukan lahan yang luas agar tidak mengganggu sanitasi dan kesehatan di sekitar pemukiman penduduk, hal ini dikenal sebagai masalah estetika lingkungan. Limbah minyak dan lemak juga dapat menimbulkan masalah estetika lingkungan, yaitu menciptakan lapisan licin di area tempat pembuangan limbah (Suyasa, W. B. 2014).

Keberadaan zat pencemar dalam air limbah, terutama zat organik, dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen dalam air, sehingga dapat mengganggu kehidupan biota air. Kurangnya ketersediaan oksigen terlarut dapat mengakibatkan kematian biota air. Selain itu, adanya zat kimia berbahaya yang terdapat dalam air juga dapat meracuni makhluk hidup di dalamnya. Efek lainnya yaitu adanya bau busuk yang menyengat yang dihasilkan oleh proses pembusukan. Perubahan warna air menjadi kotor atau hitam juga dapat mengganggu pemandangan. Jika limbah tersebut mengandung karbon dioksida yang agresif, maka akan bersifat korosif (Sholichin, M. 2012).

## **B. Air Limbah**

### **1. Definisi Air Limbah**

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 80 Tahun 2019 air limbah disebut sebagai air yang berasal dari proses tertentu dalam suatu kegiatan. Air limbah atau air buangan mengacu pada air yang dibuang dari rumah tangga, industri maupun tempat umum lainnya, yang umumnya mengandung bahan atau zat-zat yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan hidup. Definisi lain menyatakan bahwa air limbah adalah campuran cairan dan sampah cair yang berasal dari daerah permukiman, perdagangan, perkantoran dan industri, bersama-sama dengan air tanah, air permukaan dan air hujan yang ada di sekitarnya (Kusnoputranto, 2010).

### **2. Karakteristik Air Limbah**

#### **a. Fisika**

##### **1) Warna**

Air yang bersih biasanya tidak memiliki warna, tetapi sering kali warnanya akan berubah karena adanya benda-benda asing yang masuk ke dalamnya. Karakteristik yang sangat mencolok pada limbah cair adalah warnanya, yang biasanya disebabkan oleh zat organik dan algae. Air limbah yang baru seringkali memiliki warna abu-abu (Mahyuddin *et al.*, 2023).

## 2) Kekeruhan

Kekeruhan adalah sifat optis yang menghalangi penembusan cahaya ke dalam air. Hal ini disebabkan oleh adanya partikel koloid yang tersebar dan zat-zat yang terdispersi menjadi ukuran yang lebih besar oleh organisme, zat organik, jasad renik, lumpur, tanah, dan benda-benda lain yang terapung di dalamnya (Mahyuddin *et al.*, 2023).

## 3) Temperatur

Limbah cair biasanya memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada temperatur udara di sekitarnya. Temperatur limbah cair dan air merupakan parameter sangat penting karena dapat memengaruhi kehidupan di dalam air, meningkatkan reaksi kimia, dan mengurangi jumlah spesies ikan di dalam air (Mahyuddin *et al.*, 2023).

## 4) Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid*)

*Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan parameter fisik air baku dan zat terlarut, baik zat organik maupun anorganik yang terdapat pada larutan. Parameter mencakup jumlah material dalam air, material ini dapat berupa karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik, dan zat-zat lainnya. Kadar TDS dalam air juga berperan dalam menentukan rasa air, seringkali membuat air terasa seperti memiliki kandungan garam (Afrianita *et al.*, 2017).



#### 5) Total Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid*)

*Total Suspended Solid* (TSS) merupakan bahan-bahan tersuspensi yang memiliki diameter  $>1 \mu\text{m}$  tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori  $0,45 \mu\text{m}$ . Padatan tersuspensi ini mencakup lumpur, pasir halus dan jasad-jasad renik yang berasal dari erosi tanah dan terbawa oleh aliran air. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, baku mutu air limbah bagi industri atau kegiatan pengolahan kedelai (tahu) menetapkan batas maksimum kadar total padatan tersuspensi (*total suspended solid*) sebesar  $300 \text{ mg/L}$  dengan beban  $4 \text{ kg/ton}$ .

Bahan-bahan organik terutama protein dan asam amino yang terdapat dalam limbah cair industri tahu menyebabkan kandungan kadar TSS dalam limbah tersebut. Kadar TSS pada umumnya dapat dihilangkan melalui proses flokulasi dan penyaringan. TSS berperan dalam membatasi penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis serta visibilitas di dalam perairan (Afridon & Irfan, 2023).

Kandungan TSS pada limbah cair tahu berasal dari berbagai proses seperti pencucian, perebusan, penyaringan, dan pengepresan kedelai yang dapat menyebabkan kekeruhan. Oleh karena itu, partikel TSS dapat disisihkan dengan metode filtrasi atau

penyaringan. Semakin banyak limbah cair tahu mengalami proses penyaringan, semakin rendah nilai TSS nya (Afridon & Irfan, 2023).

b. Kimia

1) Derajat Keasaman (pH)

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat asam atau basa yang dimiliki oleh suatu larutan. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, baku mutu air limbah bagi industri atau kegiatan pengolahan kedelai (tahu) menetapkan batas maksimum kadar untuk parameter derajat keasaman (pH) 6-9.

Limbah cair dari industri tahu seringkali memiliki sifat asam yang dapat menyebabkan pelepasan zat-zat yang mudah menguap saat dalam keadaan asam, hal ini menimbulkan bau busuk yang berasal dari limbah cair industri tahu. pH memiliki peran penting dalam proses pengolahan air limbah. Selain itu, penguraian bahan organik dalam kedelai seperti protein dan karbohidrat menjadi amonia, sulfida, dan asam lainnya juga merupakan faktor yang mempengaruhi proses ini (Afridon & Irfan, 2023).

2) Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*)

*Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan jumlah miligram oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk menguraikan bahan organik karbon dalam 1 liter air selama 5 hari pada suhu  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (SNI 6989.72:2009). Menurut Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, baku mutu air limbah bagi industri atau kegiatan pengolahan kedelai (tahu) menetapkan batas maksimum pada parameter kebutuhan oksigen biokimia (*biochemical oxygen demand*) sebesar 150 mg/L dengan beban 3 kg/ton.

Tingginya nilai BOD disebabkan oleh tingginya kadar bahan organik yaitu protein yang berasal dari penambahan limbah cair tahu, penambahan limbah cair tersebut menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik di dalam air, penambahan ini berasal dari air limbah yang digunakan untuk mencuci peralatan produksi tahu. Nilai BOD yang tinggi mengindikasikan bahwa kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk menguraikan limbah tersebut menjadi tinggi, hal ini dapat menyebabkan kekurangan oksigen bagi biota perairan karena oksigen yang seharusnya tersedia untuk mereka diserap oleh mikroorganisme dalam proses penguraian limbah. Jadi nilai BOD yang tinggi menandakan telah terjadi pencemaran (Afridon & Irfan, 2023).

### 3) Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*)

*Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu jumlah oksidan  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  yang bereaksi dengan contoh uji dan dinyatakan sebagai mg  $\text{O}_2$  untuk tiap 1000 mL contoh uji (SNI 6989.2:2019). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5

Tahun 2014, baku mutu air limbah bagi industri atau kegiatan pengolahan kedelai (tahu) menetapkan batas maksimum kadar kebutuhan oksigen kimiawi (*chemical oxygen demand*) sebesar 300 mg/L dengan beban 6 kg/ton. Konsentrasi COD yang tinggi mengindikasikan semakin besar tingkat pencemaran yang terjadi pada suatu perairan (Sandi, 2017).

Semakin tinggi COD maka semakin rendah kandungan oksigen terlarut dalam air (Wicheisa, 2018). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol. Hal ini dapat mengakibatkan kematian bagi tumbuhan air, ikan, dan hewan air lainnya yang memerlukan oksigen untuk hidup (Amah, T *et al.*, 2023).

#### 4) Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

*Dissolved Oxygen* (DO) sangat dibutuhkan oleh bakteri aerob dalam proses respirasi, jika kekurangan DO akan menyebabkan kematian pada mikroorganisme, karena DO digunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh mikroorganisme dan berkembang biak. Oksigen terlarut sangat penting untuk respirasi, pertumbuhan, perkembangbiakan, proses metabolisme oleh seluruh jasad hidup akuatik, dan dekomposisi bahan organik (Sinaga *et al.*, 2016).

## 5) Nitrogen

Unsur nitrogen memiliki peran penting dalam pertumbuhan protista dan tanaman, nitrogen ini dikenal sebagai unsur hara atau nutrisi yang merangsang pertumbuhan. Nitrogen dalam limbah cair terutama merupakan gabungan dari bahan- bahan berprotein dan urea. Bakteri menguraikan nitrogen ini dengan cepat dan mengubahnya menjadi amonia, sehingga jumlah amonia dalam air limbah dapat menunjukkan umur air buangan tersebut (Mahyuddin *et al.*, 2023).

## C. Tahu

Tahu dan tempe merupakan salah satu jenis makanan yang populer di masyarakat Indonesia dan merupakan sumber protein utama yang berasal dari kedelai. Sebagian besar produksi tahu di Indonesia berasal dari industri kecil yang terutama tersebar di Pulau Jawa. Pertumbuhan industri ini berkembang pesat sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk (Amah, T *et al.*, 2023).

### 1. Proses Pembuatan Tahu

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Amah, T dkk (2023), proses pembuatan tahu dan tempe masih sangat mengandalkan metode tradisional dan sering kali memanfaatkan tenaga manusia. Industri kecil seperti industri pembuatan tahu banyak berkembang di daerah pedesaan maupun perkotaan (Pagoray *et al.*, 2021).

Industri tahu menggunakan air dalam berbagai tahap pengolahannya, termasuk untuk proses sortasi, peredaman, pengupasan,

pencucian, penggilingan, perebusan dan penyaringan. Secara umum, proses pembuatan tahu melibatkan ekstraksi protein dari kedelai, diikuti dengan pengumpulannya hingga terbentuk padatan protein (Amah, T *et al.*, 2023). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sayow F dkk (2020), tahapan umum dalam proses pembuatan tahu adalah sebagai berikut:

- a. Kedelai yang telah dipilih dibersihkan dan disortir. Proses pembersihan dapat dilakukan dengan ditampi atau menggunakan alat pembersih.
- b. Kedelai direndam dalam air bersih agar dapat mengembang dan menjadi lunak untuk proses penggilingan. Lama perendaman berkisar 4 - 10 jam.
- c. Kedelai dicuci dengan air bersih. Jumlah air yang digunakan bervariasi, tergantung pada ukuran atau jumlah kedelai yang digunakan.
- d. Kedelai digiling hingga menjadi ampas kedelai menggunakan mesin penggiling. Untuk mempercepat proses penggilingan, air ditambahkan dalam jumlah yang sesuai dengan jumlah kedelai.
- e. Kedelai dimasak di atas kompor dan direbus selama 5 menit. Selama proses memasak, perhatikan agar tidak terlalu berbusa dengan menambahkan air dan diaduk.
- f. Ampas kedelai disaring menggunakan kain penyaring. Ampas yang dihasilkan diperas dan dibilas dengan air hangat. Persentase ampas basah berkisar antara 70% hingga 90% dari berat kering kedelai.
- g. Setelah itu, dilakukan penggumpalan dengan menggunakan air asam pada suhu 50 °C, hingga terbentuk gumpalan besar. Selanjutnya air di

atas endapan dibuang dan sebagian digunakan untuk proses penggumpalan kembali.

- h. Langkah terakhir adalah pengepresan dan pencetakan yang dilapisi dengan kain penyaring hingga padat. Setelah sisa air tersisa sedikit, maka cetakan dibuka dan dibiarkan mendingin.

## **2. Limbah Industri Tahu**

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Amah, T dkk (2023), industri tahu menghasilkan limbah cair sebagai bagian dari proses pengolahannya. Limbah cair dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan. Proses-proses seperti pencucian, perebusan, pengepresan, dan pencetakan tahu juga berkontribusi pada pembentukan limbah cair dalam jumlah yang sangat tinggi. Jika limbah cair tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang ke saluran pembuangan, hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang dapat diamati melalui beberapa parameter fisik, kimia, dan biologi (Pagoray *et al.*, 2021).

## **3. Kandungan Limbah Industri Tahu**

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Amah, T dkk (2023), kualitas limbah cair dapat dilihat melalui parameter fisik seperti tingkat kekeruhan, total padatan dan nilai pH. Selain itu, parameter biologis yang dapat diambil dari limbah tahu sebagai indikator lingkungan dapat dilihat dari keanekaragaman makhluk hidup. Semakin baik kualitas lingkungannya, maka semakin tinggi keanekaragaman makhluk hidup yang terdapat di dalamnya. Sedangkan parameter kimia dapat dilihat dari kadar

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang terkandung dalam limbah cair tersebut. Limbah cair tersebut mengandung BOD, COD dan bahan organik tinggi akan berpengaruh terhadap daya dukung lingkungan (Pagoray *et al.*, 2021).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Pangestu, W. P. dkk (2021), limbah cair dari industri tahu mengandung berbagai komponen seperti BOD, COD, DO, pH, nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), ammonia ( $\text{NH}_3$ ), TDS dan TSS. Limbah ini mengandung zat organik yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba di dalam air, sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen. Selain itu, limbah cair tahu juga mengandung partikel tersuspensi yang dapat menyebabkan kekeruhan pada air (Sepriani *et al.*, 2016).

#### **4. Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu**

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 mengatakan bahwa yang dimaksud dengan baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Menurut ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi industri atau kegiatan pengolahan kedelai (tahu) adalah sebagai berikut:



Tabel 2. 1  
Baku Mutu Air Limbah Industri atau Kegiatan Pengolahan Kedelai

Parameter	Pengolahan Kedelai	
	Tahu	
	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)
<i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	150	3
<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	300	6
<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	200	4
Derajat Keasaman (pH)	6-9	
Kuantitas air limbah paling tinggi (m <sup>3</sup> /ton)	20	

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah

Keterangan:

- 1) \*) kecuali untuk pH
- 2) Satuan kuantitas air limbah adalah m<sup>3</sup> per ton bahan baku
- 3) Satuan beban adalah kg per ton bahan baku

## 5. Dampak Pencemaran Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair dari proses produksi tahu mengandung berbagai zat organik seperti protein dan lemak, serta zat-zat kimia seperti pewarna dan pengawet. Ketika limbah ini dibuang ke sungai atau saluran air tanpa pengolahan yang memadai, mereka mencemari air dengan kadar bahan organik yang tinggi dan senyawa kimia berbahaya. Hal ini mengakibatkan penurunan kualitas air, menurunnya keberlanjutan ekosistem perairan, serta mengganggu kehidupan akuatik seperti ikan dan makhluk air lainnya. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari suatu proses atau kegiatan industri tahu memberikan pengaruh yang luas, tidak hanya terbatas pada

lingkungan sekitar tetapi juga mempengaruhi lingkungan secara global. Hal ini telah memunculkan kesadaran untuk mengembangkan teknik atau metode yang lebih baik dalam memahami dan mengurangi dampak tersebut (Umbu Lolo, E *et al* 2021:2).

Limbah cair tahu, yang merupakan hasil sampingan dari proses pembuatan tahu, mengandung berbagai bahan kimia dan zat organik yang dapat berdampak buruk terhadap kesehatan manusia. Menurut Ginting dkk (2019), limbah cair dari pabrik tahu yang dibuang ke sungai di sekitar pabrik menyebabkan pencemaran lingkungan. Limbah tahu tidak hanya mengganggu pernafasan, tetapi juga mengganggu kesehatan lainnya. Aliran limbah yang masuk ke sungai menyebabkan masyarakat yang melakukan aktivitas seperti mencuci, mandi, dan mengambil air dari sungai tersebut mengalami gangguan kesehatan seperti gatal-gatal karena air yang tercemar (Raihana. E *et al.*, 2023).

#### **D. Pengolahan Air Limbah**

Pembuangan air limbah yang mengandung tinggi bahan organik secara langsung ke dalam badan air tanpa proses pengolahan, dapat mengakibatkan peningkatan jumlah mikroorganisme. Hal ini berpotensi mengurangi kadar oksigen yang larut dalam air, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kematian biota perairan. Kematian organisme perairan ini akan mengganggu keseimbangan ekosistem secara berkelanjutan dan berpotensi berdampak negatif pada aktivitas manusia. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan air limbah tahu untuk mencegah pencemaran air (Amalia, R. N. *et al.*, 2022).

Teori pengolahan air mencakup berbagai prinsip dan metode yang digunakan untuk membersihkan air dari kontaminan. Pengolahan air dapat menggunakan metode koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi adalah serangkaian langkah yang umum digunakan untuk membersihkan air dari berbagai kontaminan sehingga dapat dikonsumsi dengan aman (Raghuvanshi, S. *et al.*, 2017) (Wani, M. Y. *et al.*, 2010).

### **1. Koagulasi**

Koagulasi adalah penambahan bahan kimia dengan pengadukan cepat yang dapat digunakan untuk menggabungkan koloid dengan cara mengganggu stabilitas partikel koloid, yang disebut koagulasi kimia. Proses koagulasi dapat menghilangkan kekeruhan dan warna dalam air yang disebabkan oleh bahan organik yang mengganggu (D. P. A. Kusuma, 2021).

Tujuan dari menerapkan proses koagulasi adalah untuk mendestabilisasi partikel sehingga memungkinkannya untuk bergabung dengan partikel lain dan dapat dihilangkan pada proses selanjutnya. Selain itu, koagulan juga berfungsi sebagai media penggumpal pada air limbah dan terbentuklah flok yang kemudian secara mudah dipisahkan dan diendapkan. Proses koagulasi melibatkan penggunaan koagulan anorganik seperti tawas (aluminium sulfat), natrium aluminat, besi sulfat, besi klorida, dan sebagainya (Ekoputri, S. F. *et al.*, 2023).

### **2. Flokulasi**

Dalam penelitiannya D. P. A. Kusuma (2021) menyampaikan bahwa salah satu alternatif untuk mengolah air limbah tersebut yaitu dengan

menggunakan metode koagulasi-flokulasi. Interpolasi koagulan adalah proses di mana terjadi pembentukan flok atau pengumpulan molekul yang sulit mengendap bersama molekul lainnya, yang bertujuan untuk mempercepat proses pengendapan, proses ini dikenal sebagai flokulasi (A. A. Pratiwi *et al.*, 2023). Setelah melalui tahap koagulasi dan flokulasi, maka terjadi pembentukan flok yang kemudian dipisahkan dari larutan dengan menggunakan metode sentrifugasi (Nurjannah *et al.*, 2021).

### **3. Sedimentasi**

Sedimentasi adalah tahap penting dalam proses penjernihan air yang melibatkan pemisahan partikel-padatan dari air dengan cara membiarkan air diam dalam sebuah wadah yang luas sehingga memungkinkan partikel-padatan tersebut mengendap ke bagian dasar. Sedimentasi adalah tahap dimana air yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi akan mengalami endapan dan penyaringan hingga tidak mengandung bahan padat sama sekali (D. P. A. Kusuma, 2021). Proses ini dimulai setelah proses koagulasi-flokulasi, dimana partikel-partikel kecil yang terbentuk dalam bentuk flok akan mengendap di bagian bawah wadah.

Selama proses sedimentasi, partikel-padatan yang lebih berat akan mengendap lebih cepat daripada yang lebih ringan, menyebabkan terjadinya pemisahan antara air bersih di bagian atas dan endapan padatan di bagian bawah. Setelah proses sedimentasi selesai, air bersih dapat diambil dari bagian atas wadah untuk penggunaan selanjutnya, sementara endapan padatan dapat dibuang atau diolah lebih lanjut.

#### 4. Filtrasi

Filtrasi air adalah proses penghilangan partikel-padatan, mikroorganisme, dan zat-zat terlarut dari air menggunakan media penyaring. Proses ini bertujuan untuk membersihkan air agar aman untuk dikonsumsi atau digunakan dalam berbagai keperluan. Filtrasi air dapat dilakukan menggunakan berbagai jenis media penyaring seperti pasir, karbon aktif, kertas, arang, plastik dan gelas (Febrina, L., dan Ayuna, A., 2015).

Pada umumnya, air mengalir melalui media penyaring sehingga partikel-padatan yang lebih besar dari pori-pori media akan terperangkap, sementara air bersih akan lolos melalui penyaringan. Beberapa media penyaring juga memiliki kemampuan untuk menyerap zat-zat kimia maupun organik yang tidak diinginkan dari air, seperti karbon aktif yang dapat menghilangkan bau dan rasa yang tidak sedap, kekeruhan, berwarna, berminyak, berlumpur dan berkarat (Fadlan M. T. B *et al.*, 2019).

#### E. *Total Suspended Solid*

##### 1. Definisi *Total Suspended Solid*

*Total Suspended Solid* (TSS) merupakan bahan-bahan tersuspensi yang memiliki diameter  $>1 \mu\text{m}$  tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori  $0,45 \mu\text{m}$ . Padatan tersuspensi ini mencakup lumpur, pasir halus dan jasad-jasad renik yang berasal dari erosi tanah dan terbawa oleh aliran air. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Widyaningsih, T. S, (2023), TSS merujuk pada padatan yang menyebabkan air menjadi keruh,

tidak larut dan tidak dapat mengendap secara langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran dan beratnya lebih kecil daripada sedimen, seperti tanah liat, bahan-bahan tertentu, sel-sel mikroorganisme dan lainnya. Meskipun bahan-bahan tersuspensi dan terlarut dalam perairan alami tidak bersifat toksik secara intrinsik, akan tetapi jika dalam jumlah yang berlebihan, mereka dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang kemudian akan menghalangi penetrasi cahaya matahari ke dalam air dan akhirnya mempengaruhi proses fotosintesis di lingkungan perairan (Siregar, 2005).

## **2. Faktor Yang Mempengaruhi *Total Suspended Solid***

Bahan-bahan organik terutama protein dan asam amino yang terdapat dalam limbah cair industri tahu menyebabkan kandungan kadar TSS dalam limbah tersebut. Kadar TSS pada umumnya dapat dihilangkan melalui proses flokulasi dan penyaringan. TSS berperan dalam membatasi penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis serta visibilitas di dalam perairan (Afridon & Irfan, 2023).

## **3. Dampak *Total Suspended Solid***

Kandungan *total suspended solids* (TSS) dalam limbah cair dari industri tahu memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Apabila limbah cair tahu dengan kandungan TSS yang tinggi dibuang langsung ke sungai tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu, maka akan menyebabkan menurunnya kualitas air di sungai tersebut (Pangestu, W. P. *et al.*, 2021).

#### **4. Cara Menurunkan Kadar *Total Suspended Solid***

Kandungan TSS pada limbah cair tahu berasal dari berbagai proses seperti pencucian, perebusan, penyaringan, dan pengepresan kedelai yang dapat menyebabkan kekeruhan. Oleh karena itu, partikel TSS dapat disisihkan dengan metode koagulasi, filtrasi atau penyaringan. Semakin banyak limbah cair tahu mengalami proses penyaringan, semakin rendah nilai TSS nya (Afridon & Irfan, 2023).

### **F. Koagulan**

#### **1. Definisi Koagulan**

Koagulan adalah zat kimia yang ditambahkan ke dalam air atau cairan untuk memfasilitasi proses koagulasi, yang melibatkan pembentukan flok dari partikel-partikel kecil yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif pada partikel di dalam suspensi (Syamsuddin & Beso, Y, 2017). Menurut Prihatinningtyas, E. dkk (2013), koagulan merujuk pada bahan kimia yang dimasukkan ke dalam air dengan tujuan mengendapkan partikel-partikel koloid yang sulit dihilangkan di dalam air (Putra, R. S. *et al.*, 2019)

#### **2. Tujuan Koagulan**

Tujuan penggunaan koagulan dalam pengolahan air adalah untuk menghilangkan partikel-partikel tersuspensi, kotoran, dan zat-zat terlarut dalam air. Penggunaan koagulan dalam proses pengolahan air minum dan air limbah bertujuan untuk menghasilkan air yang lebih bersih dan aman untuk dikonsumsi. Fungsi utama koagulan adalah membantu dalam pembentukan flok atau pengendapan besar dari partikel-partikel kecil yang

tersuspensi dalam air atau cairan, sehingga mempermudah proses pemisahan atau pengendapan. Selain itu, koagulan juga berfungsi sebagai media penggumpal dalam air limbah, dan yang menyebabkan pembentukan flok yang kemudian dapat dengan mudah dipisahkan dan diendapkan (Ekoputri, S. F. *et al.*, 2023).

### 3. Jenis-Jenis Koagulan

Dalam proses koagulasi, bahan yang digunakan untuk memfasilitasi penggabungan partikel-partikel ini disebut koagulan. Koagulan dapat berbasis biologi atau kimia, yaitu sebagai berikut:

#### a. Biologi

Jenis koagulan biologi melibatkan penggunaan bahan alami atau bahan yang berasal dari organisme hidup untuk membantu proses koagulasi dalam pengolahan air, limbah, atau dalam aplikasi bioteknologi (Jones, B. 2020). Berikut beberapa contoh jenis koagulan biologi:

- 1) Poliamina dan *Poly Diallyl Dimethyl Ammonium Chloride* (PolyDADMAC) ini dianggap sebagai koagulan organik yang paling umum digunakan karena sifat kationiknya. Sifat ini berperan dalam menetralkan muatan pada koloid yang negatif dan membentuk struktur yang menyerupai spons yang dikenal sebagai mikroflok.
- 2) Formaldehida melamin dan tanin merupakan bahan yang digunakan untuk mengentalkan bahan koloid dalam air. Koagulan ini sangat



efektif dalam mengatasi lumpur berbahaya karena mampu menyerap bahan organik seperti minyak dan lemak dengan baik.

b. Kimia

Ada beberapa jenis koagulan kimia yang umum digunakan dalam pengolahan air dan limbah. Berikut adalah beberapa di antaranya:

1) *Sodium Aluminate* ( $\text{NaAlO}_2$ )

Natrium aluminat terbentuk melalui penggabungan natrium oksida dan aluminium oksida. Biasanya, bentuk padat dari bahan kimia ini mengandung sekitar 70-80% natrium aluminat, sementara dalam bentuk cairannya mengandung sekitar 30% natrium aluminat. Karena berat molekul Al yang rendah, larutan natrium aluminat dapat mengurangi produksi lumpur kimiawi dibandingkan dengan besi. Selain itu, natrium aluminat dapat meningkatkan alkalinitas air, sehingga mengurangi kebutuhan akan kapur atau hidroksida (Greaves, J. 2022).

2) *Ferric Sulfate* ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )

Ferri sulfat merupakan jenis koagulan besi yang umumnya digunakan bersama dengan klorin dan memiliki kemampuan membentuk flok yang lebih padat jika dibandingkan dengan aluminium sulfat. Dibandingkan dengan tawas, besi sulfat memiliki beberapa keunggulan, misalnya partikel kawat besi hidroksida memiliki kepadatan yang lebih tinggi dan lebih mudah diendapkan melalui sedimentasi jika dibandingkan kawat tawas. Namun, ada

juga kelemahannya karena dapat menghasilkan lumpur hidroksida yang jauh lebih berat dan sulit untuk larut (Greaves, J. 2022).

3) *Ferric Chloride* ( $\text{FeCl}_3$ )

Ferric klorida memiliki peran ganda sebagai flokulan dan koagulan. Bahan ini sering digunakan dalam industri pengolahan air dan menjadi alternatif pengganti besi sulfat. Ferric klorida cenderung mempercepat proses sedimentasi, terutama dalam air yang dingin. Meskipun demikian, penggunaan ferric klorida kurang diminati karena kandungan klorida yang dapat meningkatkan korosifitas air (Greaves, J. 2022).

4) *Poly Aluminium Chloride* ( $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$ )

Penggunaan PAC banyak digunakan karena memiliki tingkat korosi yang rendah dan dianggap aman. Hal ini disebabkan karena air yang diolah dengan PAC tidak mengalami penurunan pH yang signifikan seperti ketika menggunakan aluminium sulfat. Selain itu, PAC juga memiliki kemampuan untuk menarik partikel lain dalam air, sehingga ukuran dan beratnya meningkat, dan memudahkan proses pengendapan. Rentang pH yang optimal untuk PAC adalah sekitar 5-9, proses koagulasi dengan PAC juga lebih efisien, sehingga memungkinkan waktu reaksi yang lebih singkat dibandingkan dengan aluminium sulfat (Ekoputri, S. F. *et al.*, 2023).

### 5) *Aluminium Sulfate* ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )

Aluminium sulfat merupakan salah satu koagulan yang sering digunakan karena ketersediaannya yang mudah diperoleh dan harganya terjangkau. Koagulan ini berperan dalam menggumpalkan koloid dalam air limbah yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Rentang pH yang optimal untuk penggunaan koagulan ini berkisar antara 4,5-8,0. Alkalinitas dalam air akan bereaksi dengan aluminium sulfat (alum) sehingga menghasilkan aluminium hidroksida (Ekoputri, S. F. *et al.*, 2023).

### G. Tawas

Gambar 2.1 menunjukkan contoh tawas  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  dalam bentuk bubuk putih yang dikemas dalam kantong plastik. Bentuk ini umum ditemukan di pasaran dan siap digunakan untuk berbagai keperluan. Tawas  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  dalam bentuk bubuk seperti ini memudahkan proses penimbangan dan pencampuran dengan bahan lain sesuai kebutuhan, sehingga penggunaannya menjadi lebih praktis.



Gambar 2. 1 Tawas  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

## 1. Definisi Tawas

Tawas merupakan senyawa anorganik yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu molekul air, aluminium, logam lain selain aluminium, dan sulfat (Bashyal, J. 2023). Menurut penelitian Widyaningsih, T. S. (2023) tawas telah dikenal sebagai *flocculator* yang efektif untuk menggumpalkan kotoran dalam proses penjernihan air. Tawas sering digunakan sebagai bahan penjernih air, di mana kekeruhan air dapat dikurangi dengan menambahkan bahan kimia yang disebut koagulan, tawas memiliki rumus molekul aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ). Aluminium sulfat berfungsi sebagai agen penggumpal dalam penjernihan air, pada pH 5,0 - 7,5 kelarutan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sangat rendah dan membentuk gel dan mengendapkan koloid-koloid. Koagulan tawas bekerja optimal pada pH 6-8. Untuk menentukan dosis yang optimal, jenis koagulan, dan pH yang tepat dalam penjernihan air, bisa dilakukan dengan tes sederhana di laboratorium (Alaerts dan Santika, 1987).

Menurut penelitian Muthi'ah, S. dkk (2023) tawas biasanya dibuat dari bahan baku bauksit. Namun, bauksit adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, meskipun jumlahnya masih cukup banyak di Indonesia. Alternatif pengganti bauksit sebagai bahan baku tawas yang sedang dikembangkan yaitu limbah yang memiliki kandungan aluminium seperti limbah aluminium foil (Anggraeni dkk., 2017), limbah kaleng (Gultom dan Hestina, 2019), dan limbah plastik *multilayer* (Pradhana dkk., 2021). Aluminium dalam plastik *multilayer* dapat didaur ulang melalui

metode ekstraksi *green solvent* menggunakan asam laktat dan DES (*choline chloride* – asam laktat, rasio molar 1:9) (Nieminen dkk., 2020).

## 2. Sifat-Sifat Tawas

Tawas atau aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), memiliki berbagai sifat fisik dan kimia yang membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengolahan air (Bashyal, J. 2023). Berikut adalah beberapa sifat fisik dan kimia pada tawas:

- a. Tawas tidak memiliki bau atau warna yang jelas, seringkali berbentuk bubuk kristal, biasanya berwarna putih.
- b. Senyawa tawas menunjukkan kelarutan yang tinggi dalam air, terutama bila terkena suhu tinggi.
- c. Kristal biasanya mengadopsi bentuk oktahedral beraturan setelah pengendapan dari larutan air.
- d. Tawas biasanya ditemukan dalam bentuk kristal padat, bubuk, atau butiran berwarna putih dan transparan.
- e. Zat-zat tersebut menunjukkan reaksi asam, sehingga menghasilkan pembentukan lakmus.
- f. Tawas berfungsi sebagai agen koagulan yang efektif, ketika ditambahkan ke dalam air, tawas menghidrolisis membentuk kation aluminium yang dapat menggumpalkan partikel koloid dan mengendapkannya, sehingga membersihkan air dari kotoran dan kekeruhan.

### 3. Jenis Tawas

Tawas atau aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), merupakan senyawa kimia yang memiliki beberapa jenis, masing-masing dengan sifat dan aplikasi yang berbeda (Bashyal, J. 2023). Berikut adalah beberapa jenis tawas yang umum ditemukan:

Tabel 2. 2  
Jenis-Jenis Tawas

Tawas	Nama Kimia	Rumus Kimia	Massa Molar	Penggunaan
Ammonium Alum	Ammonium Aluminum Sulfate	$\text{NH}_3\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	132,14 gram/mol	Digunakan dalam industri penyamakan, tekstil, sebagai bahan tahan api, dalam produksi semen porselen, lem sayuran, pemurnian air, dan beberapa produk deodoran
Potash Alum	Potassium Aluminum Sulfate	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	258,192 gram/mol	Umum digunakan dalam industri makanan (pengawet dan bahan pengembang), penyamakan kulit, dan pengolahan air
Chrome Alum	Chromium Aluminum Sulfate	$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	283,22 gram/mol	Digunakan terutama dalam industri penyamakan kulit dan sebagai aditif dalam beberapa jenis alum lainnya untuk menghasilkan kristal berwarna ungu atau lavender
Soda Alum	Sodium Aluminum Sulfate	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	458,28 gram/mol	Banyak digunakan dalam industri makanan sebagai

Tawas	Nama Kimia	Rumus Kimia	Massa Molar	Penggunaan
				bahan pengembang dalam baking powder dan sebagai agen pengasam
Selenate Alum	Selenium Aluminum Sulfate	$\text{Al}_2\text{O}_{12}(\text{Se})_3$	482,9 gram/mol	Dikenal memiliki sifat oksidasi yang kuat dan digunakan dalam beberapa aplikasi khusus seperti dalam beberapa jenis baking powder dan agen pengasam

Sumber : <https://scienceinfo.com/alum-properties-types-amazing-applications/>

#### 4. Manfaat Tawas

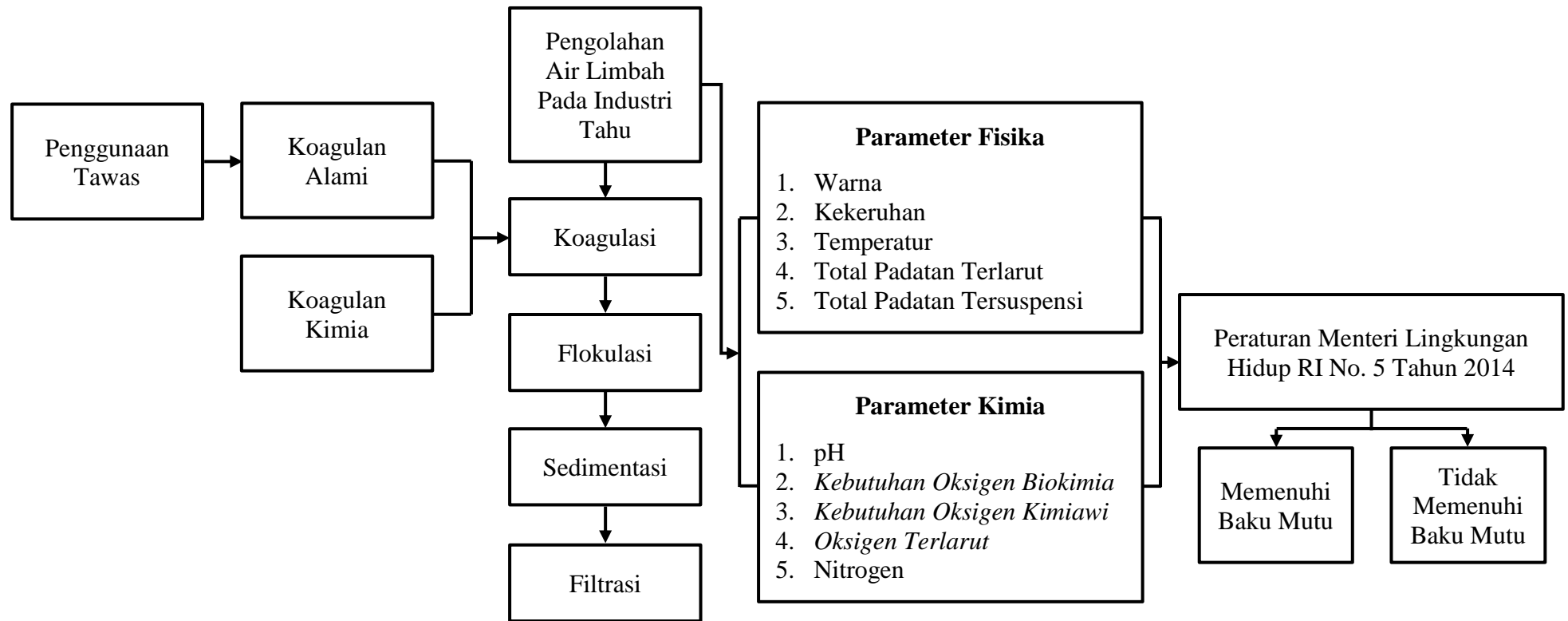
Menurut Bashyal (2023), tawas memiliki peran penting dalam proses penjernihan air melalui mekanisme koagulasi dan flokulasi. Dalam proses ini, tawas digunakan untuk menghilangkan partikel kotoran dan bahan pencemar dengan menggabungkan partikel-partikel kecil yang terlarut atau tersuspensi dalam air, sehingga membentuk flok atau gumpalan besar. Flok tersebut kemudian dapat dengan mudah dipisahkan dari air, menghasilkan air yang lebih bersih dan bebas dari kotoran serta bahan pencemar.

Penggunaan tawas dalam pengolahan air bertujuan untuk memulihkan air yang terkontaminasi. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang digunakan untuk mengatasi air yang tercemar. Teknik pengolahan air ini sering digunakan sebelum proses

sedimentasi dan penyaringan, digunakan untuk meningkatkan efektivitas proses pengolahan dalam menghilangkan partikel (Bashyal, 2023).



## H. Kerangka Teori



Gambar 2. 2 Kerangka Teori Penelitian

Modifikasi dari Afrianita *et al.*, (2017); Afridon & Irfan, (2023); Amah, T *et al.*, (2023); Permen LH RI No. 5 (2014); PerMen LHK RI No. 80 (2019); PP RI No. 22 (2021); Suyasa, W. B. (2014); Winarni, I. (2016); Mahyuddin *et al.*, (2023); Sinaga *et al.*, (2016); Pagoray *et al.*, (2021); Ekoputri, S. F. *et al.*, (2023); D. P. A. Kusuma, (2021); Febrina, L., dan Ayuna, A., (2015); Widyaningsih, T. S. (2023).