



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Definisi dan Karakteristik Air Limbah

Air limbah (wastewater) merupakan kotoran yang berasal dari masyarakat, rumah tangga, serta industri, termasuk air tanah, air permukaan, dan limbah lainnya. Dengan demikian, air buangan ini tergolong sebagai kotoran umum. Sumber utama air limbah dari rumah tangga biasanya berasal dari kawasan perumahan dan area perdagangan. Selain itu, sumber lain yang tidak kalah penting adalah daerah perkantoran, lembaga, dan fasilitas rekreasi. Di beberapa daerah, jumlah air limbah dapat diukur secara langsung.

Volume aliran air limbah dari industri sangat bervariasi, tergantung pada jenis dan ukuran industri, pengawasan terhadap proses produksi, tingkat penggunaan air, serta derajat pengolahan air limbah yang dilakukan. Puncak aliran air limbah biasanya tidak akan terlewat jika menggunakan tangki penahan dan bak pengaman. Untuk memperkirakan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri yang tidak menerapkan proses basah, dapat diperkirakan sekitar 50 m<sup>3</sup>/ha/hari. Sebagai acuan, dapat dipertimbangkan bahwa 85-95% dari total air yang digunakan akan menjadi air limbah jika industri tersebut tidak mengolah ulang air limbahnya. Jika industri memanfaatkan kembali air limbah, maka jumlahnya akan lebih sedikit (Priyandes, 2018). Air limbah memiliki ciri-ciri yang dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu:

##### II.1.1 Ciri-Ciri Fisik

Ciri-ciri fisik utama air limbah meliputi kandungan bahan padat, warna, bau, dan suhu.

##### 1. Bahan Padat

Air yang terkontaminasi selalu mengandung padatan yang dapat dikategorikan menjadi empat kelompok berdasarkan ukuran partikel dan sifat lainnya (Khasanah, 2022). Keempat kelompok tersebut adalah:



- a. Padatan terendap (sedimen)
  - b. Padatan tersuspensi dan koloid
  - c. Padatan terlarut
  - d. Minyak dan lemak
2. Warna

Warna adalah ciri kualitatif yang digunakan untuk menilai kondisi umum air limbah. Warna air limbah dapat ditentukan oleh limbah industri serta sisa-sisa organisme yang terdegradasi.

3. Bau

Bau air limbah biasanya berasal dari proses pembusukan, yang disebabkan oleh zat organik yang terurai secara tidak sempurna dalam air limbah.

4. Suhu

Suhu air limbah umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan air bersih, disebabkan oleh adanya tambahan air hangat dari area perkotaan.

### II.1.2 Ciri- Ciri Kimiawi

Air limbah tentunya mengandung beragam zat kimia. Bahan organik dalam air limbah dapat mengonsumsi oksigen dan menyebabkan rasa serta bau yang tidak sedap dalam penyediaan air bersih. Pengujian kimia yang utama mencakup tujuh parameter yang berkaitan dengan amonia bebas, nitrogen organik, nitrit, nitrat, fosfor organik, dan fosfor anorganik (Hamzah, 2016).

### II.1.3 Ciri-Ciri Biologis

Pemeriksaan biologis pada air limbah dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan bakteri patogen di dalamnya. Berbagai jenis bakteri yang ditemukan dalam air limbah dapat sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyakit. Sebagian besar bakteri yang ada di air limbah berperan penting dalam proses pembusukan bahan organik (Khasanah, 2022).



## II.2 IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal adalah sistem pengolahan air limbah yang dilakukan secara terpusat, di mana terdapat bangunan yang berfungsi untuk memproses limbah cair domestik secara komunal (digunakan oleh sekelompok rumah tangga) agar lebih aman saat dibuang ke lingkungan, sesuai dengan standar baku mutu lingkungan. Limbah cair dari rumah-rumah warga dialirkan ke bangunan bak penampungan IPAL melalui jaringan pipa (De Side, 2021)

### II.2.1 Debit Air Limbah

Desain IPAL dipengaruhi oleh debit air limbah yang dihasilkan, karena debit ini digunakan untuk menentukan volume unit-unit pengolahan air limbah. Jika debitnya besar, maka volume unit pengolahannya harus diperbesar agar dapat menampung air limbah tersebut. Selain itu, jika menggunakan unit pengolahan yang memerlukan waktu tinggal, perhitungan volume unit pengolahan harus dikalikan dengan waktu tinggal yang ditentukan (Marhadi, 2016).

### II.2.2 Aliran Air Limbah

Air limbah dapat bersifat kontinu (terus menerus) atau bersifat sesaat, tergantung pada proses produksi yang dilakukan. Beberapa industri beroperasi sepanjang hari, sementara yang lain hanya beroperasi pada jam tertentu, seperti pagi hingga sore atau sore hingga pagi. Industri yang beroperasi secara terus-menerus akan menghasilkan aliran air limbah yang konstan. Biasanya, air limbah ini berasal dari setiap unit produksi dengan jumlah yang bervariasi. Untuk jenis aliran ini, dapat dirancang bak pengatur aliran dan keseragaman kualitas air limbah sebelum masuk ke unit pengolahan utama. Bak ini dikenal sebagai bak equalization, yang juga dapat dilengkapi dengan penambahan bahan kimia untuk mengkondisikan sifat air limbah sesuai yang diinginkan (Marhadi, 2016).



---

### **II.3 Baku Mutu Air Limbah**

Baku mutu air limbah adalah ukuran yang menentukan batas atau kadar unsur pencemar serta jumlah unsur pencemar yang diizinkan keberadaannya dalam air limbah sebelum dibuang atau dilepaskan ke sumber air dari suatu usaha atau kegiatan. Dalam baku mutu air limbah, diatur berbagai hal terkait kadar bahan pencemar, kuantitas, dan beban pencemaran yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan (Marhadi, 2016).

### **II.4 Jenis-jenis Air Limbah**

Berdasarkan sumbernya, air limbah dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Air Limbah Domestik: Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan hunian, seperti di rumah tinggal, hotel, sekolah, kampus, perkantoran, pertokoan, pasar, dan fasilitas pelayanan umum. Air limbah domestik dapat dikategorikan menjadi: air buangan dari kamar mandi, air buangan dari toilet, serta air buangan dari dapur dan cucian.
2. Air Limbah Industri: Air limbah yang dihasilkan dari aktivitas industri, seperti pabrik logam, tekstil, kulit, pangan (makanan dan minuman), industri kimia, dan lainnya.
3. Air Limbah Limpasan dan Rembesan Air Hujan: Air limbah yang mengalir di permukaan tanah dan meresap ke dalam tanah akibat hujan. Dari berbagai sumber pencemar lingkungan, limbah rumah tangga merupakan penyumbang pencemaran terbesar, diikuti oleh limbah industri, sementara limbah dari rumah sakit, pertanian, peternakan, dan sumber lainnya menyumbang lebih sedikit (Sahabuddin, 2015).

### **II.5 Pengelolaan Limbah Cair**

Beragam metode dan tahapan dalam pengolahan limbah cair telah dikembangkan. Limbah cair yang mengandung polutan yang berbeda mungkin memerlukan proses pengolahan yang berbeda pula. Proses-proses pengolahan ini dapat diterapkan secara keseluruhan, dalam kombinasi beberapa proses, atau



hanya satu proses saja. Selain itu, proses pengolahan dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan atau faktor keuangan. Berikut adalah tahapan pengolahan limbah:

1) Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pengolahan primer (*Primary Treatment*) bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan yang terlihat, yang umumnya berkaitan dengan karakteristik fisik. Tahap ini juga penting sebagai persiapan untuk pengolahan pada tahap selanjutnya. Proses pengolahan limbah secara fisik dapat dilakukan melalui berbagai unit, seperti penyaringan (*screening*), penghilangan pasir (*grit removal*), sedimentasi, dan pemisahan minyak atau lemak (Aditia, 2020).

a) Penyaringan (*Screening*)

Langkah pertama adalah menyaring limbah yang mengalir melalui saluran pembuangan menggunakan jeruji saring. Proses ini dikenal sebagai penyaringan. Metode penyaringan merupakan cara yang efektif dan ekonomis untuk menghilangkan bahan padat berukuran besar dari air limbah.

b) Pengolahan Awal (*Pretreatment*)

Kedua, limbah yang telah disaring dialirkan ke dalam suatu tangki atau bak yang berfungsi untuk memisahkan pasir dan partikel padat tersuspensi lainnya yang berukuran relatif besar. Tangki ini dalam bahasa Inggris disebut *grit chamber*, dan cara kerjanya adalah dengan memperlambat aliran limbah sehingga partikel pasir akan tenggelam ke dasar tangki, sementara air limbah tetap mengalir untuk proses berikut.

c) Pengendapan

Setelah melewati tahap pengolahan awal, limbah cair akan dialirkan ke dalam tangki atau bak pengendapan. Metode pengendapan adalah salah satu metode pengolahan utama yang paling umum digunakan dalam proses pengolahan primer limbah cair. Di dalam tangki pengendapan, limbah cair dibiarkan diam sehingga partikel-partikel padat yang tersuspensi dapat



mengendap ke dasar tangki. Partikel-partikel tersebut akan membentuk lumpur, yang kemudian dipisahkan dari air limbah dan dialihkan ke saluran lain untuk pengolahan lebih lanjut. Selain metode pengendapan, terdapat juga metode pengapungan (*Flotation*).

d) Pengapungan (*Flotation*)

Metode ini efektif untuk menghilangkan polutan berupa minyak atau lemak. Proses pengapungan dilakukan dengan menggunakan alat yang dapat menghasilkan gelembung udara kecil ( $\pm 30 - 120$  mikron). Gelembung udara ini akan mengangkat partikel minyak dan lemak ke permukaan air limbah, sehingga dapat dihilangkan. Jika limbah cair hanya mengandung polutan yang dapat diatasi melalui proses pengolahan primer, maka limbah tersebut dapat langsung dibuang ke lingkungan (perairan). Namun, jika limbah tersebut mengandung polutan lain yang sulit dihilangkan melalui proses tersebut, seperti agen penyebab penyakit atau senyawa organik dan anorganik terlarut, maka limbah itu perlu dialirkan ke proses pengolahan berikutnya.

2) Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Tahap pengolahan sekunder adalah proses pengolahan yang dilakukan secara biologis, melibatkan mikroorganisme yang dapat mengurai atau mendegradasi bahan organik. Mikroorganisme yang biasanya digunakan adalah bakteri aerob. Terdapat tiga metode umum dalam pengolahan biologis, yaitu metode penyaringan tetesan (*trickling filter*), metode lumpur aktif (*activated sludge*), dan metode kolam perlakuan (*treatment ponds/lagoons*).

a) Metode *Trickling Filter*

Dalam metode ini, bakteri aerob yang digunakan untuk mendegradasi bahan organik menempel dan tumbuh pada lapisan media kasar, biasanya terbuat dari serpihan batu atau plastik, dengan ketebalan sekitar 1–3 meter. Limbah cair disemprotkan ke permukaan media dan dibiarkan merembes melalui media tersebut. Selama proses perembesan, bahan organik dalam



limbah akan didegradasi oleh bakteri aerob. Setelah merembes hingga ke dasar lapisan media, limbah akan menetes ke dalam wadah penampung dan kemudian disalurkan ke tangki pengendapan. Di tangki pengendapan, limbah mengalami proses pengendapan lagi untuk memisahkan partikel padat yang tersuspensi dan mikroorganismenya dari air limbah. Endapan yang terbentuk akan menjalani proses pengolahan limbah lebih lanjut, sedangkan air limbah akan dibuang ke lingkungan atau dilanjutkan ke proses pengolahan berikutnya jika diperlukan.

b) *Metode Activated Sludge*

Dalam metode lumpur aktif (*activated sludge*), limbah cair dialirkan ke sebuah tangki, di mana limbah dicampurkan dengan lumpur yang kaya akan bakteri aerob. Proses degradasi berlangsung di dalam tangki ini selama beberapa jam, dengan bantuan pemberian gelembung udara untuk aerasi (oksigen). Aerasi ini mempercepat aktivitas bakteri dalam mendegradasi limbah. Setelah itu, limbah dipindahkan ke tangki pengendapan untuk mengalami proses pengendapan, sementara lumpur yang mengandung bakteri dikembalikan ke tangki aerasi. Seperti pada metode trickling filter, limbah yang telah melalui proses ini dapat dibuang ke lingkungan atau diproses lebih lanjut jika masih diperlukan.

c) *Metode Treatment ponds/ Lagoons*

Metode kolam perlakuan (*treatment ponds/lagoons*) adalah teknik yang ekonomis, meskipun prosesnya relatif lambat. Dalam metode ini, limbah cair ditempatkan di kolam-kolam terbuka. Alga yang tumbuh di permukaan kolam melakukan fotosintesis, menghasilkan oksigen yang digunakan oleh bakteri aerob untuk menguraikan bahan organik dalam limbah. Kadang-kadang, kolam juga diaerasi. Selama proses degradasi dalam kolam, limbah akan mengalami pengendapan. Setelah proses degradasi selesai dan endapan terbentuk di dasar kolam, air limbah dapat dialirkan untuk dibuang ke lingkungan atau diproses lebih lanjut.



### 3) Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan tersier dilakukan jika setelah pengolahan primer dan sekunder masih terdapat zat tertentu dalam limbah cair yang dapat berbahaya bagi lingkungan atau masyarakat. Pengolahan tersier bersifat khusus, artinya pengolahan ini disesuaikan dengan kandungan zat yang tersisa dalam limbah cair / air limbah. Umumnya zat yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya melalui proses pengolahan primer maupun sekunder adalah zat-zat anorganik terlarut, seperti nitrat, fosfat, dan garam-garaman. Pengolahan tersier sering disebut juga pengolahan lanjutan (*advanced treatment*). Pengolahan ini meliputi berbagai rangkaian proses kimia dan fisika. Contoh metode pengolahan tersier yang dapat digunakan adalah metode saringan pasir, saringan multimedia, precoal filter, microstaining, vacuum filter, penyerapan dengan karbon aktif, pengurangan besi dan mangan, dan osmosis bolak-balik.

Metode pengolahan tersier jarang diaplikasikan pada fasilitas pengolahan limbah. Hal ini disebabkan biaya yang diperlukan untuk melakukan proses pengolahan tersier cenderung tinggi sehingga tidak ekonomis (Aditia, 2020).

### 4) Desinfeksi (*Desinfection*)

Desinfeksi atau pembunuhan kuman bertujuan untuk membunuh atau mengurangi mikroorganisme patogen yang ada dalam limbah cair. Mekanisme desinfeksi dapat secara kimia, yaitu dengan menambahkan senyawa/zat tertentu, atau dengan perlakuan fisik. Dalam menentukan senyawa untuk membunuh mikroorganisme, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. Daya racun zat
- b. Waktu kontak yang diperlukan
- c. Efektivitas zat
- d. Kadar dosis yang digunakan
- e. Tidak boleh bersifat toksik terhadap manusia dan hewan





- f. Tahan terhadap air
- g. Biayanya murah

Contoh mekanisme desinfeksi pada limbah cair adalah penambahan klorin (klorinasi), penyinaran dengan ultraviolet (UV), atau dengan ozon (O<sub>3</sub>). Proses desinfeksi pada limbah cair biasanya dilakukan setelah proses pengolahan limbah selesai, yaitu setelah pengolahan primer, sekunder atau tersier, sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

#### 5) Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Endapan lumpur yang dihasilkan dari pengolahan limbah biasanya diolah melalui proses penguraian atau pencernaan secara aerobik (*anaerobic digestion*), kemudian dialihkan ke beberapa alternatif, seperti dibuang ke laut atau ke lahan pembuangan (*landfill*), dijadikan pupuk kompos, atau dibakar (*incineration*). Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah campuran flok (massa) yang mengandung berbagai mikroba heterogen, termasuk bakteri, ragi, jamur, dan protozoa, serta "bahan organik" dan "bahan lendir". Secara umum, lumpur aktif terdiri dari 70% komposisi tersebut.

Lumpur aktif terdiri dari 90% bahan organik dan 10% bahan anorganik. Struktur flok dari lumpur aktif cenderung memiliki muatan negatif akibat interaksi kimia-fisika antara mikroorganisme (terutama bakteri), partikel organik (seperti oksida silikat, fosfat, dan besi), polimer ekstraseluler, serta berbagai kation. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>, dan sel biomassa baru. Proses ini memanfaatkan udara yang disuplai melalui pompa blower atau dengan aerasi mekanis. Sel-sel mikroba membentuk flok yang kemudian mengendap di tangki pengendapan (Sari, 2013).