

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Limbah Pupuk**

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri pupuk yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Berdasarkan data perencanaan dan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, limbah industri pupuk pada Tugas Perancangan ini mempunyai karakteristik dan standar baku mutu antara lain:

##### **2.1.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)***

*Biological Oxygen Demand (BOD)* merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (*biological oxidation*) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Metcalf & Eddy, 2004).

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD<sub>5</sub> adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD<sub>5</sub> (Sugiharto, 1987).

Kandungan BOD<sub>5</sub> pada kawasan ini adalah 9.000 mg/L, sedangkan standar baku mutu BOD<sub>5</sub> yang diperbolehkan di buang ke lingkungan adalah 3 mg/L. (Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021).

### **2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)**

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/l) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat) (Qasim, 1985). COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia (Metcalf & Eddy, 2004).

Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utrama denga uji nilai COD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan dengan uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidan yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Sperling, 2007).

Kandungan COD air buangan kawasan industri ini adalah 12.000 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 25 mg/L (Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021).

### **2.1.3 Fosfat (P)**

Kandungan fosfat penting untuk dianalisis dan dihilangkan pada air limbah industri dan domestik karena senyawa fosfat menimbulkan pencemaran dan fenomena berupa eutrofikasi pada badan air. Senyawa fosfor juga ditemukan sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat maupun organik fosfat. Dalam perairan, kandungan fosfat mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplanakton). Keberadaan mikroorganisme seperti plankton memengaruhi kualitas air permukaan. Seperti contoh alga dan cyanobacteria yang memerlukan kandungan fosfat dan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam perairan dan mampu menyebabkan algae bloom akibat ketidakstabilan parameter nitrat dan fosfat yang ada di dalam air (Sawyer et al., 2003).

Kandungan fosfat pada air limbah ditemukan pada beberapa tempat. Fosfat anorganik dihasilkan oleh limbah manusia sebagai hasil proses metabolisme senyawa protein, lemak di dalam tubuh. Senyawa polifosfat ditemukan pada limbah industri detergen maupun pencucian. Senyawa ortofosfat ditemukan pada pupuk tanaman, yang sering menjadi senyawa ortofosfat. Jumlah kandungan polifosfat dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat (Sawyer et al., 2003).

Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada air, danau, maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrisi makro esensial pertumbuhan biologis (Sawyer et al., 2003).

Penentuan kadar fosfat dalam limbah cair dapat dilakukan secara kimia atau biologi. Teknik secara kimia dianggap kurang efektif karena meningkatkan jumlah lumpur yang dihasilkan dan membutuhkan biaya tambahan serta dikhawatirkan menyebabkan kontaminasi logam berat dalam sistem pembuangan limbah cair dan meningkatkan konsentrasi garam dan efluen. Alternatif lain adalah dengan cara biologi, yaitu dengan memanfaatkan aktivitas mikroba yang mampu menurunkan kadar fosfat. Penurunan kadar fosfat dapat dilakukan melalui mekanisme pengolahan biologis yang melibatkan organisme pengakumulasi polifosfat (polyphosphate accumulating organism/PAO). PAO akan mengonsumsi fosfor untuk pembentukan komponen selulernya dan mengakumulasi sejumlah besar polifosfat dalam selnya (Sawyer et al., 2003).

Kandungan Fosfat air buangan kawasan industri ini adalah 1.200 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,2 mg/L (Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021).

#### **2.1.4 Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Nitrat merupakan salah satu zat hara yang dibutuhkan dan mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan hidup organisme di perairan. Fitoplankton merupakan salah satu parameter biologi yang erat hubungannya dengan fosfat dan nitrat. Tinggi rendahnya kelimpahan fitoplankton di suatu perairan tergantung kepada kandungan zat hara di perairan tersebut salah satunya yaitu nitrat, sama halnya dengan zat hara lainnya, kandungan nitrat di suatu perairan, secara alami tersedia sesuai dengan kebutuhan organisme yang hidup di perairan tersebut (Arizuna et al., 2014).

Peranan nitrat yang terkandung dalam sedimen yang ada di sungai atau muara sungai adalah sebagai unsur yang penting bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup bagi organisme di dalamnya. Organisme tersebut berperan sebagai mata rantai dari rantai makanan yang mendukung produktivitas perairan. Pengkayaan zat hara di lingkungan perairan memiliki dampak positif, namun pada tingkatan tertentu juga dapat menimbulkan dampak negatif. Dampak positifnya adalah terjadi peningkatan produksi fitoplankton dan total produksi sedangkan dampak negatifnya adalah terjadinya penurunan kandungan oksigen di perairan, penurunan biodiversitas dan terkadang memperbesar potensi muncul dan berkembangnya jenis fitoplankton berbahaya yang lebih umum dikenal dengan istilah *Harmful Algal Blooms* atau HABs (Arizuna et al., 2014).

Kandungan Nitrat air buangan kawasan industri ini adalah 5.000 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 10 mg/L (Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021).

#### **2.1.5 Chrom (Cr)**

*Chrom* memiliki berat atom 52, nomor atom 24, densitas 7,2 juga titik leleh  $1857 \pm 20^{\circ}\text{C}$ , dan titik didih  $2,672^{\circ}\text{C}$ . *Chrom* dapat berada dalam beberapa tingkat oksidasi, yaitu +2, +3, +6 (Hantoro, 2021). *Chrom* adalah logam yang bersifat persiten, biokumulatif, dan toksik. *Chrom* tidak dapat terurai di dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. *Chrom* memiliki toksisitas mulai dari tingkat

toksistas terendah, yaitu Cr (0), Cr (III), dan Cr (VI). Cr (VI) pada umumnya 1000 kali lebih toksik dibandingkan dengan Cr (III) (Agustiana et al., 2020).

Senyawa kromium pada sumber-sumber air alam ataupun air limbah industri dapat berada dalam bentuk Cr<sup>3+</sup> dan Cr<sup>6+</sup> yang mempunyai sifat berbeda. Cr<sup>3+</sup> esensial bagi mamalia untuk metabolisme gula, protein, dan lemak. Senyawanya lebih stabil di air serta sifat racunnya tidak terlalu besar. Berbeda dengan Cr<sup>6+</sup> karena bersifat sangat oksidatif (Handayanto, 2014).

Dalam bidang industri, Cr banyak digunakan sebagai pelapis suku cadang mobil, dan dalam bentuk campuran kromium, besi, dan nikel (nikrom) sebagai pelapis kabel listrik. Kromium terdapat pula dalam pigmen pewarna untuk tekstil, cat, tinta, dan dalam bahan pengawet untuk proses penyamakan kulit (Ackerley et al., 2004).

Kandungan Cr air buangan kawasan industri ini adalah 15 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,05 mg/L (Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021).

## **2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan**

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri pupuk ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, Fosfat, Nitrat, dan Chrom (Cr). Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

- a. Pengolahan Pendahuluan (Pre - Treatment)
- b. Pengolahan Pertama (Primary - Treatment)

- c. Pengolahan Kedua (Secondary - Treatment)
- d. Pengolahan Ketiga (Tertiary - Treatment)
- e. Pengolahan Lumpur (Sludge - Treatment)

### **2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)**

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) diantaranya adalah *intake & screening/shredding, grit removal, flow equalization*, pra-sedimentasi, dan *quality equalization*.

#### **2.2.1.1 Saluran Pembawa**

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., 2003). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak control yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (*slope*) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah system saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkungan, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak berpengaruh dengan udara luar

(atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan system sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka.



**Gambar 2.1** Saluran Terbuka dan Tertutup

Sumber: (Area Teknik Sipil, 2018)

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

1) Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0,3 m/s – 2,4 m/s

**(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316)**

2) Free board = 5%-30%

**(Sumber: Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)**

3) Koefisien Manning ( $n$ ) untuk bahan saluran beton = 0,013

**(Sumber: Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 111. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)**

4) Slope Pipa = 2-3%

(Sumber : Hakimhomint. 2017. Standar Kemiringan Pipa Air Kotor. <https://hakimhomint.wordpress.com/2017/10/23/standar-kemiringan-pipa/>. Diakses pada 12 September 2022)

Tabel 2. 1 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu-batu atau rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

Sumber: Kamiana, 2019, *Hidraulika II*, Tabel 4.2 Harga koefisien manning

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{s)}}{v \text{ (m/s)}}$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pembawa (m<sup>2</sup>)

Q = Debit limbah (M<sup>3</sup>/detik)

V = Kecepatan air fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber : Chow, 1959. *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Hal 5)

- Ketinggian Total

H total = H + free board

H total = H + (20% x H)

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), freeboard = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (V)

$$V = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{detik)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

Keterangan:

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m<sup>2</sup>)

Q = Debit Limbah (m<sup>3</sup>/detik)

V = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)

- Headloss Saluran (Hf)

Hf = n x L

Keterangan :

Hf = Headloss saluran (m)

n = Koefisien Manning

L = Panjang saluran (m)

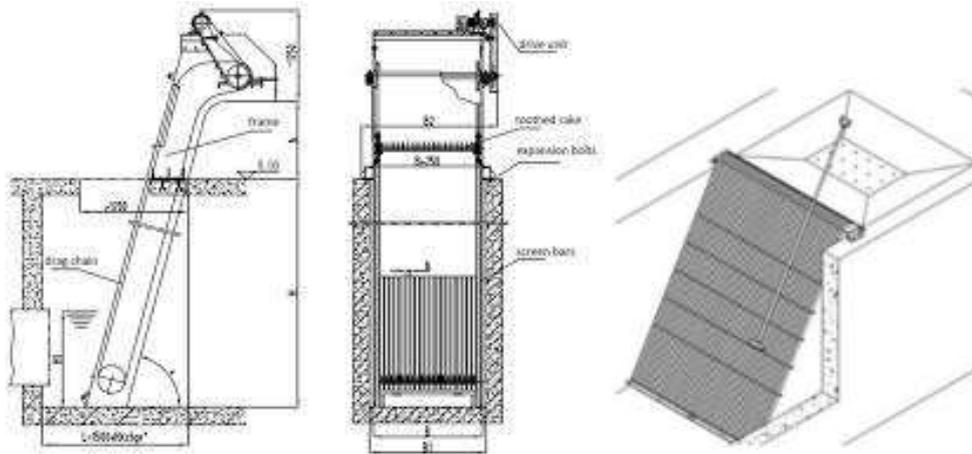
#### a. Unit Screening

Screening atau biasa disebut dengan bar screen digunakan dalam pengolahan air baik bersih maupun air limbah untuk menghilangkan

padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran  $>0,5-1,0$  cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air (Metcalf & Eddy, 2004).

Umumnya unit bar screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan  $30-45^\circ$  dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15 mm dengan jarak antar batang 25-50 mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. *Bar Screen* dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, di antaranya coarse screen, fine screen dan microscreen. Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan fine screen mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). Microscreen pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. Screen pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2. 2 Unit *Bar Screen* Mekanik dan Manual

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).

#### 1) Fine screen

*Fine screen* atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2004). Screen ini dapat digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/*primary clarifier*) karena Screen tipe ini dapat meremoval Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Total Suspended Solid (TSS).

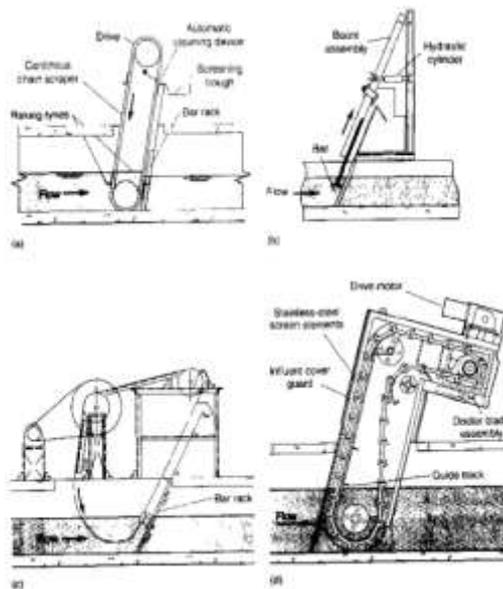


**Gambar 2. 3** Fine Screen

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

## 2) Coarse Screen

Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan bar screen. Screen ini berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6-150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah-sampah lainnya. Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Dalam proses pembersihannya, bar screen terbagi menjadi dua, yaitu secara manual maupun mekanik. Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin (Metcalf & Eddy, 2004).



**Gambar 2. 4** Tipe pembersihan mekanik coarse screen

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2004)

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *screen* dengan pembersihan manual maupun mekanis baik coarse screen maupun fine screen adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria Pembagian Screen

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
<b>Ukuran Batang</b>						
Lebar	in	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5-15	5-15
Kedalaman	in	1,0-1,5	1,0-1,5	mm	23-38	25-38
Jarak antar batang	in	1,0-2,0	0,6-3,0	mm	25-50	15-75
<b>Parameter Lain</b>						
Kemiringan terhadap vertical (derajat)	°	30-45	0-30	°	30-45	0-30
Kecepatan Max	ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	6,0-1,0
Kecepatan Min	ft/s	-	1,0-1,6	m/s	-	0,3-0,5
Headloss (max)	in	6	6-24	mm	150	150-600

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004, WWET and Reuse 4<sup>th</sup> edition)

Tabel 2. 3 Deskripsi Penggunaan Screen Pada Pengolahan Air Limbah

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Ln			Mm
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel Pengolahan Primer	
Drum (berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel Pengolahan Pendahuluan	
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel Pengolahan Primer	
	Halus		6-35 $\mu\text{m}$	Stainless-steel dan kain polyester Meremoval residual dari suspended solid sekunder	
Horizontal reciprocating	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan Stainless-steel Gabungan dengan saluran air hujan	
Tangensial	Halus	0,0475	1200 $\mu\text{m}$	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel Gabungan dengan saluran pembawa	

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004, WWET and Reuse 4<sup>th</sup> edition)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung *screen* pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi *bar screen*

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{saluran}} + (fb \times H_{\text{saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kisi (n)

$$W_s = (n+1) \times r + (n \times d)$$

Keterangan :

$W_s$  = Lebar saluran (m)

$n$  = Jumlah batang

$r$  = Jarak antar kisi (m)

$d$  = Lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan kisi ( $W_c$ )

$$W_c = W_s - (n \times d)$$

Keterangan :

$W_c$  = Lebar bukaan screen

$n$  = Jumlah batang

$d$  = Lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi ( $\gamma$ )

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan :

$H$  = Kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi ( $P$ )

$$P = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan :

$\alpha$  = kemiringan kisi

$\gamma$  = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi ( $x$ )

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

$\alpha$  = kemiringan kisi

$P$  = panjang kisi (m)

- Kecepatan Melalui Kisi ( $V_i$ )

$$V_i = \frac{Q}{W_c \times h}$$

Keterangan :

$Q$  = debit inlet air limbah ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$W_c$  = Lebar bukaan kisi (m)

$H$  = tinggi muka air (m)

- Headloss Non-Clogging

$$H_f = \frac{1}{C} \times \left( \frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

- Headloss Saat Clogging

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left( \frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan :

$C$  = koefisien saat non clogging (0,7)

$C_c$  = koefisien saat clogging(0,6)

$V_i$  = kecepatan yang melalui screen (m/s)

$V$  = kecepatan awal (m/s)

$g$  = gravitasi bumi (9,81 m/s)

**(Sumber: Metchalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 320)**

## 2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

### 2.2.2.1 Ekualisasi

Kualitas dan kuantitas air limbah yang dihasilkan suatu industri bervariasi setiap waktunya, hal ini dapat mempengaruhi perancangan instalasi, kebutuhan bangunan, mesin, lahan, biaya operasional, dan kualitas hasil pengolahan. Bak ekualisasi berfungsi untuk menyeragamkan debit air limbah domestik yang berfluktuasi pada kondisi puncak dan minimum agar dapat meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak ekualisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Pertimbangan menggunakan bak ekualisasi dalam sistem ialah untuk meningkatkan kinerja

pengolahan biologi karena akan mengurangi potensi efek *shock loading* serta dapat menstabilkan pH (Metcalf & Eddy, 2004).

Tujuan proses ekualisasi untuk mengolah limbah industry, yaitu :

1. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah *shock loading* pada proses biologis.
2. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang disyaratkan untuk proses netralisasi.
3. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik - kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
4. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
5. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.

Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak ekualisasi ini, debit air limbah yang berfluktuasi akan menjadi debit rata-rata.

Tabel 2. 4 Data Kriteria Desain Bak Ekualisasi

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimum	$h_{min}$	1,5–2	m	Tchobanoglous et al., 2003
2	Ambang bebas	$h_f$	1	m	
3	Laju Pemompaan udara	$Q_{udara}$	0,01–0,015	$m^3/m^3\cdot menit$	Qasim, 1985
4	Kemiringan dasar tangki	S	40–100	mm/m diameter	

(Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018)

Air limbah setelah melalui bar screen pada umumnya akan dialirkan masuk ke dalam bak ekualisasi. Pada bak ekualisasi terdapat komponen berupa *aerator/mixer*. Komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan (homogenisasi) air limbah domestik, khususnya terkait kualitas, selama berada di dalam bak ekualisasi. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi pengendapan material padatan ke dasar bak (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018). Dalam bak equalisasi dapat dilakukan proses pengadukan untuk menjaga homogenitas, injeksi udara yang bertujuan agar limbah tidak bersifat septik/anaerobik. Selain itu dilakukan penyeimbangan pH air limbah pada tahap ini jika diinginkan. Pada dasar bak

akan terbentuk padatan lumpur (*sludge*) jika diendapkan pada waktu yang lama. Kemudian, lumpur akan dialirkan menuju pengolahan lumpur. Air limbah yang telah terolah pada unit ini kemudian dialirkan keluar melalui pipa outlet dengan debit terkontrol dan menuju pengolahan selanjutnya.

Bak ekualisasi didesain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004).



**Gambar 2. 5** Bak Ekualisasi  
Sumber : (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018)

Kriteria Perencanaan:

1.  $T_d = < 2$ jam

*(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 344)*

2. Freeboard = 10-20%

3. Kecepatan aliran = 0,3-2,4 m/s

*(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 316)*

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

#### **1. Volume Bak Ekualisasi**

$$V = Q \times T_d$$

Dengan :

V = Volume bak ekualisasi (m<sup>3</sup>)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/detik)

Td = Waktu detensi (detik)

## 2. Dimensi Bak Ekualiasi

$$V = L \times B \times H$$

Dengan :

V = Volume bak ekualisasi (m<sup>3</sup>)

L = Panjang bak ekualisasi (m)

B = Lebar bak ekualisasi (m)

H = Tinggi bak ekualisasi (m)

## 3. Kedalaman Total

$$H \text{ Total} = H + \text{Freeboard}$$

Dengan :

H total = Kedalaman total bak(m)

H = Ketinggian air dalam bak equalisasi (m)

Fb = 5% - 30%

## 4. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{w \times H}{W + 2H}$$

W = Lebar (m)

H = Ketinggian (m)

## 5. Cek Waktu Detensi

$$T_d = V/Q$$

V = Volume (m<sup>3</sup>)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/hari)

Fungsi pompa adalah sebagai alat pemindahan fluida melalui saluran terbuka/tertutup di dasarkan dengan adanya peningkatan energi mekanika fluida. Tambahan energi ini akan meningkatkan kecepatan dan tekanan fluida. Pemompaan pada bak penampung digunakan untuk mengalirkan limbah ke unit pengolahan selanjutnya.

Tabel 2. 5 Klasifikasi Pompa

<b>Klasifikasi Utama</b>	<b>Tipe Pompa</b>	<b>Kegunaan Pompa</b>
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Air limbah sebelum diolah</li> <li>- Penggunaan lumpur kedua</li> <li>- Pembuangan effluent</li> </ul>
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir lumpur, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas permasalahan zat-zat kimia pengaliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	Screw	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua</li> <li>- Air limbah pertama</li> <li>- Lumpur kasar</li> </ul>
	Diafragma penghisap	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permasalahn zat kimia</li> <li>- Limbah logam</li> <li>- Pengolahan lumpur pertama dan kedua</li> </ul>

	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan limbah skala kecil

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

### 2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut: (1) mengubah (mengoksidasi) konstituen *biodegradable* terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; (2) menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan *nonsetttable* menjadi flok biologis atau biofilm; (3) mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan (5) menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD antara 60-90% serta 40-90% TSS (Qasim & Zhu, 2017). Penghilangan partikulat dan BOD karbon terlarut dan stabilisasi materi organik yang ditemukan dalam air limbah dilakukan secara biologis dengan menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi atau mengubah materi organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa sebagai produk sampingan.

Biomassa memiliki berat jenis yang sedikit lebih besar dari air sehingga biomassa dapat dihilangkan dari air limbah yang diolah dengan pengendapan

gravitasi. Penting untuk dicatat bahwa kecuali biomassa yang dihasilkan dari bahan organik akan dihapus secara periodik, pengolahan lengkap belum dicapai karena biomassa, yang merupakan organik, akan diukur sebagai BOD dalam efluen. Biomassa akan dihilangkan pada system sedimentasi sekunder yaitu sedimentasi setelah pengolahan biologis terjadi.

Adapun kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih unit pengolahan sekunder dengan tepat, diantaranya adalah:

- 1) Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.
- 2) Aspek teknis, dari segi konstruksi menyangkut teknis pelaksanaan seperti ketersediaan tenaga ahli, kemudahan mendapatkan material konstruksi, instalasi bangunan, dan ruang yang digunakan. Segi operasi dan pemeliharaan menyangkut kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan instalasi air limbah.
- 3) Aspek ekonomis, menyangkut masalah pembiayaan (finansial) dalam hal konstruksi operasi, dan pemeliharaan IPAL.
- 4) Aspek lingkungan, menyangkut kemungkinan terjadinya gangguan yang dirasakan oleh penduduk akibat ketidakseimbangan factor biologis dan dampak lain seperti bau dan pencemaran udara.

Adapun beberapa contoh unit pengolahan sekunder dengan penjelasan sebagai berikut:

### **2.2.3.1 Adsorpsi**

Adsorpsi atau penerapan adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu di dalam fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang mempunyai sifat dapat menyerap (adsorbent). Sebagian besar zat pengadsorpsi atau adsorben merupakan bahan-bahan yang sangat porous dengan luas permukaan yang besar, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung pada permukaan atau dinding-dinding pori-pori atau pada bagian tertentu di dalam partikel adsorben. Karena ukuran pori-pori tersebut sangat kecil, maka luas permukaan dalam menjadi sangat besar dibandingkan dengan luas permukaan luar (Said, 2017).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), penghilangan warna, penghilangan bau dan lainnya. Bahan adsorben yang banyak digunakan antara lain adalah karbon aktif (activated carbon), silika aktif (activated alumina), zeolit dan lainnya (Said, 2017).

Di dalam proses pengolahan air, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi, dan pengendapan. Polutan di dalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan biasa antara lain adalah bau, detergen, senyawa fenol, zat warna organik, amonia dan zat-zat organik lainnya.

Perencanaan fasilitas pengolahan air dengan karbon aktif sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang akan diolah serta jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Ada 2 (dua) tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air yaitu karbon aktif bubuk atau Powder Activated Carbon (PAC) dan karbon aktif butiran atau Granular Activated Carbon (GAC) yang mana keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam segi proses maupun segi ekonominya (Said, 2017) .

Pada umumnya pengolahan air dengan karbon aktif bubuk dipilih atau dilakukan dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka pendek. Sedangkan untuk proses yang kontinu atau untuk jangka waktu yang lama penggunaan karbon aktif butiran (granular) mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif bubuk. Namun demikian, pada kondisi tertentu kombinasi antara keduanya sering juga dilakukan (Said, 2017).

#### Sifat dan Jenis Karbon Aktif :

Karbon aktif merupakan zat karbon yang berwarna hitam dan mempunyai porositas yang tinggi. Diameter partikel molekul karbon aktif antara 10-105 [Å] dan luas permukaan spesifiknya antara 500-1500 m<sup>2</sup> per gram, mempunyai daya

adsorpsi yang besar terhadap zat-zat misalnya detergen, senyawa fenol, warna organik, gas H<sub>2</sub>S, metana dan zat-zat organik lainnya dalam bentuk gas maupun cairan (Maron, 1965 dalam Said, 2017).

Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C), misalnya, batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya, dengan cara memanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran partikel atau luas permukaan spesifiknya dan juga cara pengaktifannya. Dilihat dari bentuk ukuran partikelnya dapat digabungkan dalam dua jenis yaitu karbon aktif bubuk (Powder Activated Carbon, disingkat PAC) dan karbon aktif butiran (Granulas Activated Carbon, disingkat GAC) (Said, 2017).

- Karbon Aktif Bubuk (Powder Activated Carbon)

Karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus yaitu sekitar 50-75  $\mu$  (mikron). Karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang), sehingga biasanya dicampur dengan air dengan kandungan sekitar 30-50% .

- Karbon Aktif Butiran (Granular Activated Carbon)

GAC adalah karbon aktif dalam bentuk butiran atau kepingan lake) dengan ukuran partikel 0,16-1,5 mm.

#### Prinsip Dasar Adsorpsi dengan Karbon Aktif :

Proses pengolahan air dengan karbon aktif merupakan proses adsorpsi secara fisis (physical adsorption) yaitu proses terkonsentrasinya molekul-molekul adsorbate (zat yang akan diadsorpsi dalam air (misalnya zat organik dll) ke permukaan karbon aktif karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul karbon aktif dengan molekul-molekul adsorbate yang ada dalam air (gaya Van der Waals). Karbon aktif adalah salah satu zat yang mempunyai daya menyerap zat-zat polutan yang ada dalam air sehingga zat tersebut akan menempel atau terkonsentrasi pada permukaan karbon aktif, sehingga konsentrasi zat polutan yang ada dalam air tersebut menjadi hilang atau berkurang. Proses ini disebut adsorpsi (Said, 2017).

- **Kriteria Perencanaan**

- Volume flowrate (V) = 50 – 400 m<sup>3</sup>/hari
- Volume bed (Vb) = 10 – 50 m<sup>3</sup>
- Luas penampang = 5 – 30 m<sup>2</sup>
- Panjang bed media (D) = 1,8 – 4 m
- Densitas (GAC) = 350 – 550 kg/m<sup>3</sup>
- Kecepatan aliran bed (Vf) = 5 – 15 m/jam
- Waktu kontak bed kosong = 5 – 30 menit
- Waktu kontak efektif (t) = 2 – 10 menit
- Waktu operasi = 100 – 600 hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, page 1152)

- Kf (Trichloroethylene) = 28 (mg/g) (L/mg)
- 1/n (Trichloroethylene) = 0,62

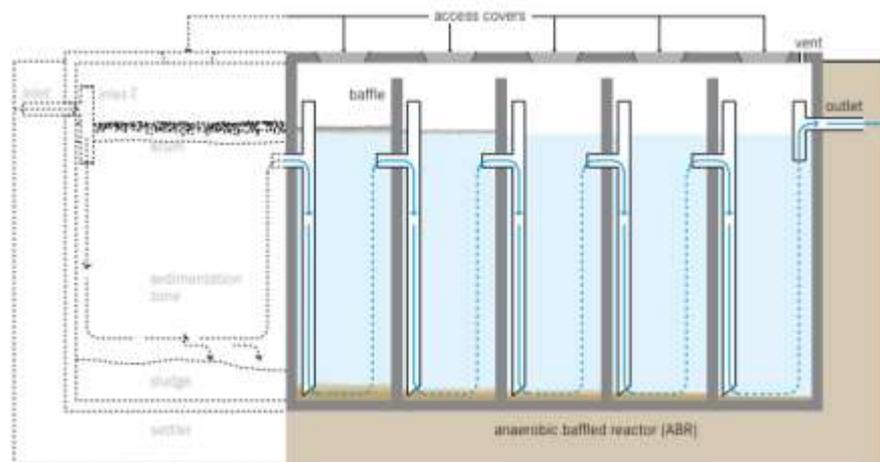
(Sumber: Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, page 1143)

### 2.2.3.2 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

*Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan *suspended growth* yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (*baffle*). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran *upflow* dan *downflow*) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme. ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganisme dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya (Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017). Ruang *upflow* memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada *septic tank* konvensional. Pada unit ini, aliran

masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m<sup>3</sup> per hari. Parameter desain meliputi waktu retensi hidraulik (HRT) antara 48 hingga 72 jam, kecepatan aliran ke atas air limbah di bawah 0,6 m/jam dan jumlah ruang aliran ke atas (3 hingga 6). Sambungan antara ruang dapat dirancang baik dengan pipa vertikal atau *baffle*. Biasanya, biogas yang dihasilkan dalam ABR melalui pengolahan anaerobik tidak dikumpulkan karena jumlahnya tidak mencukupi. Tangki harus berventilasi untuk memungkinkan pelepasan dari bau dan gas secara terkontrol yang berpotensi bahaya. Teknologi ini cocok untuk area di mana lahan mungkin terbatas karena tangki paling sering dipasang di bawah tanah dan membutuhkan lahan yang kecil (Tilley et al., 2014).

Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65–90% COD; 70–95% BOD; dan 80–90% TSS. Efisiensi penyisihan bakteri patogen pada unit ini rendah sehingga membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017). Adapun contoh gambar ABR dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



**Gambar 2. 6** *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*

(Sumber: Tilley, et al, 2014)

Adapun kriteria desain unit ABR adalah sebagai berikut

- 1) Waktu Tinggal (Td) Bak Pengendapan = 3 – 5 jam
- 2) OLR = 20-50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari

(Sumber: Said, N.I. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Erlangga. Hal 304)

- 3) Waktu retensi hidraulik (HRT) ABR = 6 - 24 jam
- 4) COD influent 1000-10.000
  - Temperature = 35°C
  - Jumlah Chamber = 5 buah
  - COD loading = 2-20 kg/m<sup>3</sup>.hari
  - Removal COD = 72-99%

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering* . Mc Graw-Hill. Hal 1018)

- 5) Kecepatan upflow = < 2 m/jam
- 6) Panjang Kompartemen = 50-60% Kedalaman
- 7) Efisiensi Penyisihan BOD = 70-95%
- 8) Efisiensi Penyisihan COD = 65-90%

(Sumber: Sasse, L. (1998). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. Hal 82. Germany: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).)

Anaerobic baffled reactor terdiri dari zona pengendap dan zona sekat (*baffled area*). Untuk menghitung dimensi zona pengendapan, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

- V zona pengendap = Q x HRT
- H zona pengendap = V/A
- *Surface Loading* = Q / A

Keterangan:

Q = debit influen (m<sup>3</sup>/jam)

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Surface loading = beban permukaan (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari)

Adapun untuk menghitung zona sekat dalam anaerobic baffled reactor dapat digunakan rumus sebagai berikut.

- $V_{ABR} = Q \times HRT$
- Luas permukaan ( $A_{surface\ upflow} = \frac{Luas\ permukaan\ downflow}{Lebar\ kompartemen\ downflow}$ )
- Total volume kompartemen = Volume kompartemen *upflow* + Volume kompartemen *downflow*
- Jumlah kompartemen =  $\frac{Volume\ ABR}{Volume\ total\ kompartemen}$
- Total volume aktif baffled area = (Panjang kompartemen *upflow* + *downflow*) x Lebar kompartemen x kedalaman efektif x jumlah kompartemen
- $OLR\ COD = \frac{Organic\ load}{Total\ volume\ aktif\ baffled\ area}$

Keterangan:

Q = debit influen (m<sup>3</sup>/jam)

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V up = kecepatan upflow (m/jam)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Surface loading = beban permukaan (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari)

OLR COD = Organic Loading Rate COD (2-20 kg COD/ m<sup>3</sup>.hari)

Organic load = beban organik (kg/hari)

### 2.2.3.3 Biofilter Anaerobik-Aerobik

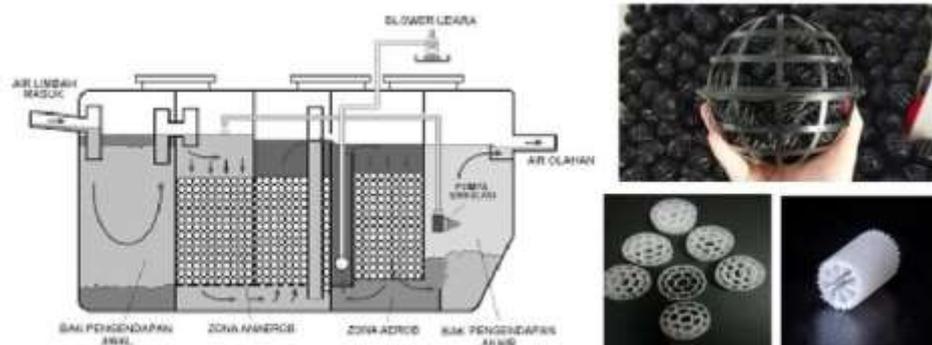
Biofilter anaerobic-aerobik adalah proses pengolahan air limbah yang menggunakan media penyangga dalam reactor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media menyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub>, air, dan ammonia. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobic, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

Biofilter Aerob adalah unit pengolahan air limbah dengan prinsip biofilm atau biofilter terendam yang dialirkan air limbah ke dalam reaktor

biologis yang telah terisi dengan media untuk pengembangbiakan bakteri dengan penambahan oksigen melalui aerasi. Terdapat beberapa cara untuk penginjeksian oksigen antara lain aerasi samping, aerasi tengah, aerasi merata, aerasi eksternal, aerasi dengan air lift pump, dan aerasi dengan cara mekanik. Sistem aerasi atau injeksi oksigen bergantung pada jenis media yang dipakai dan efisiensi yang akan dicapai (Said, 2017).

Menurut Said (2017), beban pencemar biofilter aerob lebih rendah sehingga ditempatkan setelah proses anaerob terjadi. Efluen pengolahan anaerobic masih mengandung zat organik dan nutrisi dikonversi menjadi sel bakteri baru, hydrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen. Parameter polutan yang ada pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, dan fosfor akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Parameter polutan tersebut didegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut. Sehingga energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

Di dalam reaktor biofilter diisi dengan media plastik tipe sarang tawon serta pemberian aerasi dengan menghembuskan udara melalui diffuser untuk membantu mikroorganisme mengurai zat organik. Mikroorganisme akan tumbuh dan menempel pada media. Mikroorganisme yang tumbuh dapat secara tersuspensi maupun melekat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik, deterjen serta proses nitrifikasi dan penyisihan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini merupakan aerasi kontak (Said, 2017).



**Gambar 2. 7** Skema kerja dan media biofilter aerobik dalam tangki

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017)

Dalam pengolahan aerobik-anaerobik menggunakan aerobik biofilter memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam, dan kedap air. Menurut Nusa Idaman Said (2017), terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain :

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras, dan tahan teknaan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
2. Diameter media, biasanya diameter media aerobik biofilter antara 2,5-2,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka semakin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme, khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman bagi mikroorganisme.
5. Suhu/temperature, suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
------------------	-------------------

Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan system uplow
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi TSS, detergen, ammonium, dan fosfor	Membutuhkan waktu picu (starter time) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli.	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (grease)
Dibandingkan dengna unit activated sludge, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor	

(Sumber: Kaswinarni, 2007)

Pengolahan air limbah dengan proses biofilm tercelup mempunyai beberapa keunggulan antara lain :

1) Pengoperasiannya mudah

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm, tanpa dilakukan sirkulasi lumpur, tidak terjadi masalah “bulking” seperti pada proses lumpur aktif (Activated sludge process). Oleh karena itu pengelolaannya sangat mudah.

2) Lumpur yang dihasilkan sedikit

Dibandingkan dengan proses lumpur aktif lumpur yang dihasilkan pada proses biofilm relatif lebih kecil. Di dalam proses lumpur aktif antara 30–

60% dari BOD yang dihilangkan (removal BOD) akan diubah menjadi lumpur aktif (biomasa) sedangkan pada proses biofilm hanya sekitar 10-30 %. Hal ini disebabkan karena pada proses biofilm rantai makanan lebih panjang dan melibatkan aktifitas mikroorganisme dengan orde yang lebih tinggi dibandingkan pada proses lumpur aktif.

3) Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

Oleh karena di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm mikroorganisme atau mikroba melekat pada permukaan medium penyangga maka pengontrolan terhadap mikroorganisme atau mikroba lebih mudah. Proses biofilm tersebut cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

4) Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi.

Di dalam proses biofilter, mikro-organisme melekat pada permukaan unggun media, akibatnya konsentrasi biomasa mikro-organisme per satuan volume relatif besar, sehingga relative tahan terhadap fluktuasi beban organik maupun fluktuasi beban hidrolis.

5) Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil.

Jika suhu air limbah turun maka aktifitas mikroorganisme juga berkurang, tetapi oleh karena di dalam proses biofilm substrat maupun enzim dapat terdifusi sampai ke bagian dalam lapisan biofilm dan juga lapisan biofilm bertambah tebal maka pengaruh penurunan suhu (suhu rendah) tidak begitu besar.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastic memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90-300 m<sup>2</sup> luas permukaan setiap m<sup>3</sup> volume reactor. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian Said (2017), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang

tawon. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said 2017):

Tabel 2. 7 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
1.	<i>Trickling filter</i> dengan batu pecah	100-200
2.	Modul <i>Honeycomb</i> (sarang tawon)	150-240
3.	Tipe jaring	50
4.	RBC	80-150
5.	Bio-ball (random)	200-240

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 292)

Media yang diisi pada ruang bed media memiliki kriteria tersendiri. Beberapa kriteria tersebut antara lain adalah mempunyai luas permukaan spesifik besar, tahan terhadap penyumbatan, dibuat dari bahan inert, harga per unit luas permukaannya murah, ringan, fleksibel, pemeliharaannya mudah dan kebutuhan energi kecil. Tujuan dari pemilihan media ini adalah untuk memperoleh luas permukaan yang luas dan murah, biaya konstruksi reaktor rendah dan tidak adanya penyumbatan (Said, 2017).

Menurut Nusa Idaman Said (2017) kriteria desain untuk media biofilter aerob dan abnaerob adalah sebagai berikut:

- Biofilter Anaerob
  - a) Waktu tinggal (Td) = 6-8 jam
  - b) Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
  - c) Beban BOD/Volume media = 0,4-4,7 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari
  - d) Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5-30 g/m<sup>2</sup>.hari
  - e) Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9-1,5 m
  - f) Efisiensi penyisihan BOD 90-95%
- Media Biofilter Anaerob

- a) Tipe = sarang tawon
  - b) Material = PVC Sheet
  - c) Ketebalan = 0,15-0,23 mm
  - d) Luas kontak spesifik = 150-226 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
  - e) Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
  - f) Berat spesifik = 30-35 kg/m<sup>3</sup>
  - g) Porositas rongga = 0,98
- Biofilter Aerob
    - a) Waktu tinggal (Td) = 6-8 jam
    - b) Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
    - c) Beban BOD/Volume media = 0,5-4,0 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari
    - d) Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5-30 g/m<sup>2</sup>.hari
    - e) Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
    - f) Efisiensi penyisihan BOD = 90-95%
  - Media Biofilter Aerob
    - a) Tipe = sarang tawon
    - b) Material = PVC Sheet
    - c) Ketebalan = 0,15-0,23 mm
    - d) Luas kontak spesifik = 150-226 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
    - e) Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
    - f) Berat spesifik = 30-35 kg/m<sup>3</sup>
    - g) Porositas rongga = 0,98

**(Sumber : Said, N.I. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi. Halaman: 302-309. Jakarta: Erlangga)**

- Blower Udara
  - a) Densitas udara = 1,2 kg/m<sup>3</sup>
  - b) Berat aliran udara (w) = 85-1700 m<sup>3</sup>/menit
  - c) Tekanan absolut outlet (P2) = 25 lb/in<sup>2</sup> = 1,7 atm
  - d) Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in<sup>2</sup> = 1 atm

e) Konstanta udara = 8,314 kJ/mol.K

f)  $K = 1,395$

g)  $N = \frac{(k-1)}{k} = \frac{(1,395-1)}{1,395} = 0,28$

h) Efisiensi = 70-90%

**(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004. Hal 440)**

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis:

#### **A. Perhitungan Biofilter Anaerobik**

- Beban BOD di dalam air limbah

Beban BOD = Debit Limbah (Q) x BOD inlet

- Volume media yang diperlukan

Volume = Beban BOD air / Beban BOD per volum media

- Volume reaktor yang diperlukan (Rancang 1 Anaerob-Aerob)

$V_{reaktor} = \frac{100}{\%media} \times V \text{ media diperlukan}$

- Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)

$Td = \frac{volume \ reaktor}{debit \ air \ limbah}$

- Dimensi reaktor

$V_{reaktor} = P \times L \times T$

Keterangan :

P = panjang

L = lebar

T = tinggi

- Dimensi Media

$V = P \times L \times T$

- BOD Loading per volume media

$BOD = \frac{Beban \ BOD \ dalam \ air \ limbah}{Volume \ media \ reaktor}$

- BOD Loading

$BOD \ Loading = \frac{BOD \ Loading \ per \ Volum \ Media}{Luas \ Spesifik \ Media}$

- Produksi sludge

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur+Beban P lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Pipa Outlet Anaerobik

$$A = Q / v$$

Keterangan :

Q = Debit limbah

V = Kecepatan aliran

- Diameter Pipa Outlet :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

## B. Perhitungan Biofilter Aerobik

- Beban BOD di dalam air limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit Limbah (Q)} \times \text{BOD inlet}$$

- Volume media yang diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD dalam air}}{\text{Beban BOD per volum media}}$$

- Volume reaktor yang diperlukan

$$V_{\text{reaktor}} = (100/40) \times V_{\text{media}}$$

- Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)

$$T_d = \frac{V_{\text{reaktor}}}{\text{Debit air limbah}} \times 24 \text{ jam}$$

- Dimensi reaktor

$$V_{\text{reaktor}} = P \times L \times T$$

Keterangan :

P = panjang

L = lebar

T = tinggi

- Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$\text{Volume media} = P \times L \times T$$

- Total volume efektif biofilter aerobik

$$V_{\text{total}} = P \times L \times T$$

- BOD loading per volume media

$$BOD_{\text{Loading}} = \frac{v \text{ total}}{v \text{ media}}$$

- BOD loading

$$BOD_{\text{Loading}} = \frac{BOD \text{ Loading per Volum Media}}{Luas Spesifik Media}$$

- Produksi Sludge

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Kebutuhan udara untuk menghilangkan BOD

$$BOD \text{ effluent} = BOD \text{ inlet} \times \% \text{ removal}$$

$$BOD \text{ removal} = BOD \text{ Inlet} - BOD \text{ Effluent}$$

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit (Q)} \times BOD \text{ removal}$$

$$\text{Kebutuhan Oksigen Sebenarnya} = \text{Beban BOD} \times \text{Faktor Keamanan}$$

Faktor keamanan = ± 2 (Nusa Idaman Said, 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah)

$$\text{Laju Transfer Oksigen Spesifik} = \frac{\text{Kebutuhan oksigen sebenarnya}}{0,7}$$

$$\text{Kebutuhan Udara} = \frac{\text{Laju Transfer Oksigen Spesifik}}{23,2\%}$$

$$\text{Kebutuhan Udara Total} = \frac{\text{Kebutuhan udara}}{0,8}$$

- Blower udara

Daya blower (Pw)

$$Pw = \left[ \frac{w \times R \times T1}{550 \times n \times e} \right] \times \left[ \left( \frac{P2}{P1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

#### 2.2.3.4 Bak Pengendapan (*Clarifier*)

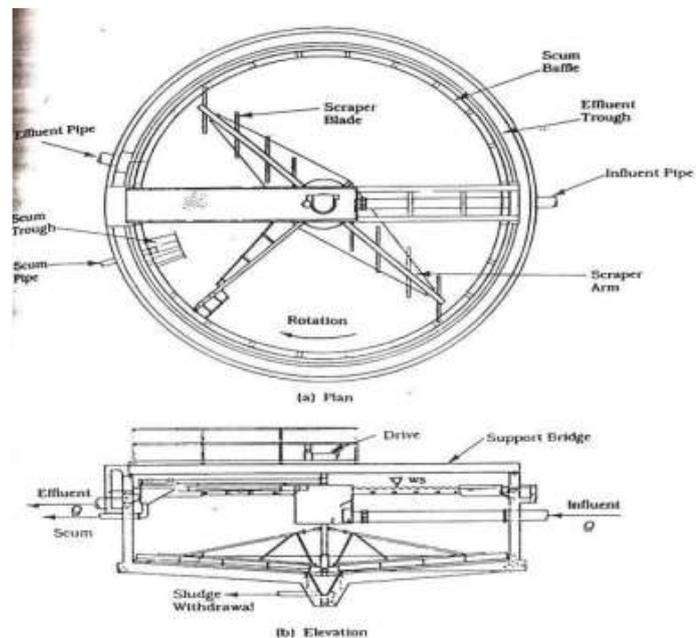
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri pathogen lainnya. Clafier sama saja dengan bak pengendap

pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi (Metcalf & Eddy, 2004).

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1 – 2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter) (Metcalf & Eddy, 2004).

Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll. Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi (Metcalf & Eddy, 2004).



**Gambar 2. 8** Secondary Clarifier

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

**Kriteria Perencanaan :**

- 1) Kedalaman (H) = 3 – 4,9 m
- 2) Diameter = 3 – 60 m
- 3) Bottom slope = 1/16 – 1/6 mm/mm
- 4) Flight speed = 0,02 – 0,05 m/menit

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)**

- 5) Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam

- 6) Over flow rate

Average = 30 – 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> .hari

Peak = 80 – 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> .hari

- 7) Weir loading = 125 – 500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> .hari

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)**

- 8) Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)**

9) % Removal Total Suspended Solid (TSS) = 50 – 70%

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 497)**

10) Konsentrasi solid = 4% - 12%

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 411)**

11) Massa jenis air ( $\rho$ ),  $T = 30^{\circ}\text{C} = 0,99568 \text{ g/cm}^3 = 9,957 \text{ kg/L}$

12) Viskositas kinematik ( $\nu$ ) =  $0,8039 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

13) Viskositas dinamik ( $\mu$ ) =  $0,8004 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2$

**(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)**

14) Bilangan Reynold (NRE) untuk  $V_s = < 1$  (Laminer)

**(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2<sup>nd</sup> edition, hal 224. Boston: PWS Publishing Company)**

15) Spesific gravity sludge ( $S_g$ ) = 1,005

16) Spesific gravity solids ( $S_s$ ) = 1,25

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 1456)**

17) Bilangan Reynold (NRE) untuk  $V_h = 105$

**(Sumber: SNI 6774 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air 2008, hal 6)**

18) Ketinggian inlet well = 0,5 – 0,7 m

19) Kecepatan inlet well = 0,3 - 0,75 m/s

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)**

20) Slope dasar bak = 6-10 %

**(Sumber: Huisman, Sedimentation and Flotation, hal 44)**

**Rumus perhitungan:**

- Luas Surface Area (A)

$$A = \frac{Q_{in} (m^3/s)}{OFR \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}}$$

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 409)**

- Over Flow Rate (OFR)

$$OFR = \frac{Q_{in} (m^3/s)}{A (m^2)}$$

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 410)**

- Kecepatan Pengendapan Partikel

$$V_s = \frac{H (m)}{T_d}$$

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 368)**

- Diameter Partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \cdot 18 \cdot \nu}{g (S_g - 1)}}$$

**(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 413)**

- Nre

$$NRe = \frac{\rho_s \cdot D_p \cdot V_s}{\mu}$$

**(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, Hal 224 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)**

- Kecepatan Horizontal (Vh)

$$V_h = \frac{Q_{in} (\frac{m^3}{s})}{\pi \times D(m) \times H(m)}$$

**(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd**

*edition, hal 228 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)*

- $n = \frac{L_{weir}}{\text{jarak antar weir}}$
- $Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$

*(Sumber: Syed R. Qasim, Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, hal: 9-21 9-26, 459-460)*

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

Pengolahan tersier (Tertiary / Advanced Treatment) dilakukan jika setelah pengolahan primer dan sekunder masih terdapat zat tertentu dalam air limbah yang dapat berbahaya bagi lingkungan atau masyarakat. Pengolahan tersier bersifat khusus, artinya pengolahan ini disesuaikan dengan kandungan zat yang tersisa dalam limbah cair. Pengolahan ini ditujukan untuk menghilangkan bahan yang sifatnya spesifik untuk limbah tertentu. Unit pengolah yang dipakai pada tahap ini bekerja secara fisika, kimia, dan biologi, misalnya ion exchange, desinfeksi (klorinasi) reverse osmosis, dan nitrifikasi.

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

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007) :

- a. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsible untuk menimbulkan bau.
- b. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12%).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai pengaruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur yang digunakan diantaranya adalah Sludge Digester dan *Filter Belt Press*. Sludge Digester merupakan unit yang mendegradasi material biologis menggunakan mikroorganisme dalam kondisi anaerob. *Filter Belt Press* merupakan suatu alat yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dengan menekan atau memeras lumpur agar menjadi kering dan padat. Adapun teknologi dalam pengolahan lumpur yang digunakan pada pengolahan ini adalah sebagai berikut:

#### **2.2.5.1 Sludge Digester**

*Sludge Digester* atau biasa disebut *Anaerobic digestion* (AD) merupakan proses pengolahan biologis dalam tangki kedap udara (biasa disebut *digester*) di mana mikroorganisme anaerobic menstabilisasi materi organik dan menghasilkan biogas. AD biasanya beroperasi dalam rentang suhu mesofilik (35-40°C) sehingga pengolahan ini cocok digunakan pada daerah tropis ((Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018).

Proses biologis dalam sistem AD terbagi dalam tiga fase, yaitu: hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis. Pada fase hidrolisis, molekul kompleks seperti protein, selulosa, lipid, dan molekul organik lainnya dilarutkan menjadi glukosa, asam amino, dan asam lemak. Selanjutnya, fase asidogenesis, organisme pembentuk asam fakultatif menggunakan energy dari materi organik terlarut untuk membentuk asam organik sehingga terjadi perubahan jumlah material organik dalam sistem dan penurunan nilai pH (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018).

Pada fase terakhir, metanogenesis, terjadi konversi asam organik volatile menjadi gas metan dan karbon dioksida. Pembentukan gas metan sangat sensitif terhadap kondisi pH, komposisi substrat, dan suhu. Jika pH turun kurang dari 6,0,

pembentukan metan akan terhenti, meningkatkan jumlah asam yang terakumulasi, dan menyebabkan terhentinya proses *digestion*. Oleh karena itu, pengukuran pH dan asam merupakan parameter penting dalam operasional AD (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018).

Terdapat dua jenis AD, yaitu *Standard-Rate Digestion* dan *High-Rate Digestion*. *Standard-Rate Digestion* biasanya berlangsung tanpa pemanasan dan pengadukan sehingga akan terbentuk lapisan *scum*, supernatan, padatan yang sedang melalui proses *digestion*, dan padatan yang telah melalui proses *digestion*. Untuk mempermudah proses pengendapan, bagian dasar tangki dirancang berbentuk kerucut (*cone*). Sedangkan *High-Rate Digestion* biasanya berlangsung dengan pemanasan dan pengadukan merata. Sistem ini membutuhkan waktu untuk proses *digestion* yang lebih singkat dan dapat menerima beban padatan yang lebih besar dari *Standard-Rate Digestion* (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018).

*Anaerobic sludge digester* dapat dibangun di atas atau di bawah tanah, tergantung pada ketersediaan lahan, karakteristik tanah, dan jumlah volume air limbah yang diolah. Bangunan unit ini memiliki kelebihan yaitu: Efisien, higienis, dan ramah lingkungan, karena bangunan memiliki penutup dan berpotensi menghasilkan energi (dalam bentuk gas metan); Dapat digunakan untuk mengolah lumpur dengan laju beban organik yang tinggi; Kebutuhan lahan tidak terlalu besar. Kebutuhan energi rendah karena tidak membutuhkan aerasi; dan biaya operasional rendah (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018).

Untuk kriteria perencanaan unit *sludge digester* sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Kriteria Desain Unit Sludge Digester

<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>	<b>Standard-Rate</b>	<b>High-Rate</b>
Waktu retensi padatan, SRT	Hari	30-60	10-20
Beban solid	kgVS/m <sup>3</sup> .hari	0,64-1,60	2,40-6,41
Dimensi : - Kedalaman	m	7-14	

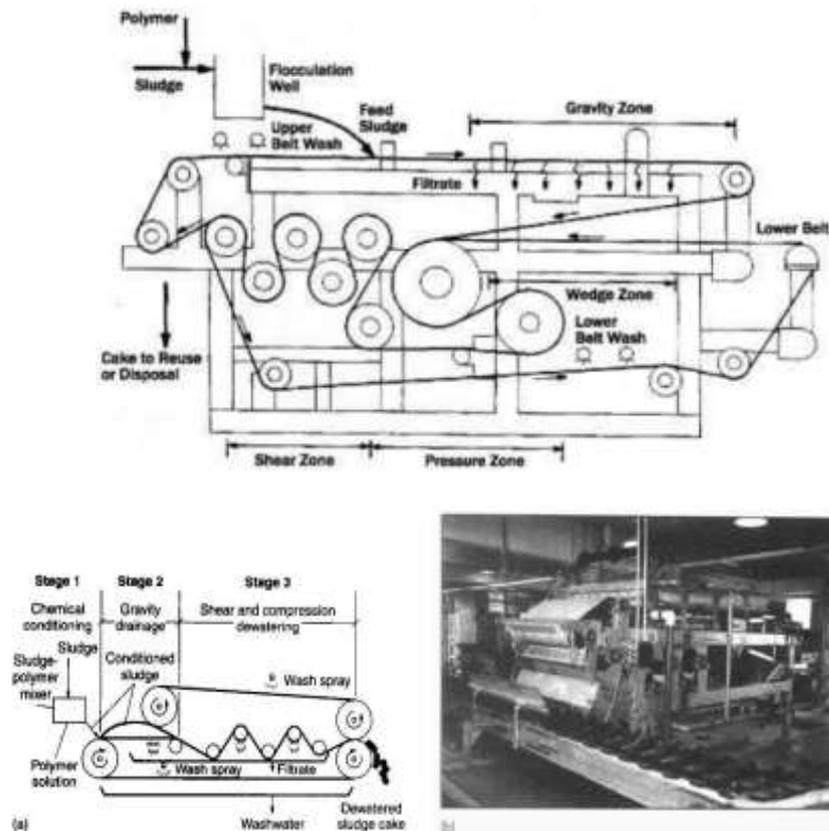
- Diameter	m	6-40
- Kemiringan dasar	-	4 : 1

(Sumber: Qasim, 1999)

### 2.2.5.2 Belt-Filter Press

Sebagian besar dari jenis Belt-Filter Press, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Dibeberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan vacuum, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan Scrapper blade Sistem operasi jenis belt-filter press dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), beltfilter press, conveyor cake lumpur, dan sistem pendukung (compressor, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur (Metcalf & Eddy, 2003).

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari belt-filter press, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. Belt-filter press ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur (Metcalf & Eddy, 2003).



**Gambar 2. 9** Filter Belt Press

Sumber: Metcalf And Eddy 4th edition, 2003

Belt-Filter Press mempunyai ukuran lebar belt dari 0.5-3.5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar belt antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol (Metcalf & Eddy, 2003).

### 2.3 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Setiap bangunan memiliki

kemampuan menurunkan beban pencemar yang berbeda-beda. Berdasarkan studi literature yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman %penyisihan untuk air limbah industri pupuk beserta sumber yang tertera pada tabel berikut ini :

Tabel 2. 9 Persen Penyisihan Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Pengolahan	Parameter	Kemampuan Penyisihan	Literatur
Adsorpsi	Cr	71-99 %	Febrina, L. (2021). Analisis Penurunan Kadar Krom (Cr) Limbah Laboratorium Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif. <i>Sustainable Environmental and Optimizing Industry.</i>
	Fosfat	92-96%	Suharto, B., Anugroho, F., & Putri, F. K. (2020). Penurunan Kadar Fosfat Air Limbah Laundry Menggunakan Kolom Adsorpsi Media Granular Activated Carbon (GAC). <i>Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan</i> , 7(1), 36-46.
Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	BOD	70-95%	Dirjen Cipta Karya. 2017. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi
	COD	65-90%	

			Pengolahan Lumpur Tinja. Hal 74.
Biofilter Anaerobik	BOD	90-95%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305
	COD	90,29%	Amri, K., & Wesen, P. (2015). Pengolahan air limbah domestik menggunakan biofilter anaerob bermedia plastik (bioball). Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, 7(2), 55-66.
	Fosfat	82,13%	I KOMANG, T. S., & Munawar, A. (2014). Anaerob Fixed Bed Reaktor Untuk Menurunkan COD, Fosfat (PO4) dan Deterjen(Las). Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, 6(2), 65-72.)
	Nitrat	99%	Herlambang, A. (2003). Proses denitrifikasi dengan sistem biofilter untuk pengolahan air limbah yang mengandung nitrat. Jurnal Teknologi Lingkungan, 4(1)

Biofilter Aerobik	BOD	96,24%	Hendrasarie, N., & Ardhi, E. W. (2022). Penurunan Kandungan Zat Pencemar Organik Pada Limbah Rumah Potong Ayam Dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Kulit Kerang. <i>EnviroUS</i> , 3(1), 19-25.
	COD	92,22%	Eko Pamungkas.2015. Studi Kinerja Biofilter Aerob untuk Mengolah Air Limbah Laundry
	Fosfat	87,74%	Eko Pamungkas.2015. Studi Kinerja Biofilter Aerob untuk Mengolah Air Limbah Laundry
	Nitrat	98,48%	Ji, B., Wang, H., & Yang, K. (2014). Nitrate and COD removal in an upflow biofilter under an aerobic atmosphere. <i>Bioresource technology</i> , 158, 156-160.
Clarifier	BOD	30-50%	Huisman (2004), <i>Sedimentation and Flotation</i> , hal 12

*Sumber : Literatur tertera*