

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Sabun

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri sabun yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2013 limbah cair Industri Kayu Sabun mempunyai karakteristik dan standar baku mutu antara lain (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014, 2014):

2.1.1 BOD

Dampak utama pencemaran limbah industri sabun dalam badan air adalah penurunan tingkat oksigen terlarut. Solusi yang ditemukan dalam skala laboratorium untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap volume standar limbah atau cairan lainnya dengan waktu yang telah ditentukan yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD). BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ 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 BOD₅ (Sugiharto, 1987). Kandungan BOD₅ pada industri sabun adalah 800 mg/L, sedangkan standar baku mutu BOD₅ yang diperbolehkan di buang ke lingkungan adalah 75 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014, 2014).

2.1.2 COD

Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan pada uji nilai COD sesuai

dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidan yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Sperling & Chernicharo, 2007).

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). Kandungan COD air buangan industri sabun ini adalah 1400 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 180 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014, 2014).

2.1.3 TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari *Total Solids* yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman fiber glass* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm (Metcalf & Eddy, 2003).

Total Suspended Solid (TSS) pada air buangan industri sabun adalah 200 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 60 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014, 2014).

2.1.4 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan salah satu parameter bahan organik yang menjadi perhatian, karena kandungan dalam perairan menyebabkan kualitas air turun. Sebagian minyak dan lemak mengalami degradasi melalui fotooksidasi spontan dan oksidasi oleh mikroorganisme. Penguraian minyak dan lemak dalam kondisi yang kurang oksigen mengakibatkan bau tengik pada air, hal tersebut terjadi karena faktor penguraian yang tidak sempurna. Kandungan minyak dan lemak yang berlebih memiliki dampak yang nyata terhadap air yaitu dapat mengurangi penetrasi cahaya dan oksigen terhadap permukaan air sehingga mengakibatkan laju proses fotosintesa berkurang (Hedar, 2021).

Minyak lemak terdiri dari 3 (tiga) macam yaitu (Hedar, 2021):

- a. Minyak esensial (minyak asiri)
- b. Minyak mineral, minyak ini mengandung senyawa-senyawa hidrokarbon
- c. Minyak yang tidak mudah menguap (trigliserida)

Sumber minyak antara lain:

- a. Hewan

Jaringan minyak di bawah kulit, antara otot-otot, dalam sumsum tulang belakang, dan lain-lain

- b. Tumbuhan

Terdapat dalam daun-daunan dan bunga, dalam benih-benih (contohnya: minyak kelapa, kacang, palem, dan sebagainya) (Hader & Erzinger, 2017).

2.1.5 Fosfat

Penentuan kandungan fosfat sangat penting dalam air limbah industri dan domestik karena senyawa fosfat menimbulkan fenomena perairan. Senyawa fosfor ditemukan sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat maupun anorganik fosfat. Dalam perairan kandungan fosfat mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplankton). Keberadaan plankton mempengaruhi kualitas air permukaan. Contohnya adalah alga dan *cyanobacteria* yang memerlukan fosfat dan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam perairan. Kandungan nitrogen dan fosfat menyebabkan *alga bloom* yang akan berdampak pada sistem kesetimbangan perairan (Brahmana & Achmad, 2012).

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 digunakan pada daerah pertanian. Senyawa polifosfat dapat dihidrolisis oleh bakteri menjadi senyawa ortofosfat. Senyawa fosfat yang sering ditemukan pada Tabel 2.1. Jumlah kandungan polifosfat dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat. Senyawa fosfat yang sering ditemukan disajikan pada table 2.1 berikut ini (Hedar, 2021):

Tabel 2. 1. Senyawa Fosfat yang Sering Ditemukan

Nama Senyawa Fosfat	Rumus Kimia
Ortofosfat :	
1. Trinatrium Fosfat	Na_3PO_4
2. Dinatrium Fosfat	Na_2HPO_4
3. Mononatrium Fosfat	NaH_2PO_4
4. Diamonium Fosfat	$(\text{NH}_3)_2\text{PO}_4$
Polifosfat :	
1. Natrium Heksametafosfat	$\text{Na}_2(\text{PO}_3)_6$
2. Natrium Tripolifosfat	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$
3. Tetranatrium Pirofosfat	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

(Sumber : Brahmana & Achmad, 2014)

Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada sungai, danau maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrient makro esensial pertumbuhan biologis (Sawyer dkk., 1994).

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. Dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu (Sugiharto, 1987):

- 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 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah unit yang berfungsi untuk mendistribusikan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Saluran pembawa memiliki 2 jenis yaitu saluran terbuka dan tertutup (pipa). Saluran terbuka biasanya terbuat dari beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran. Perencanaan saluran pembawa selalu memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/*slope* (m/m). Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Saluran pembawa terdiri dari saluran terbuka dan tertutup seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1 (Hakim dkk., 2017):



Gambar 2. 1. Saluran Terbuka dan Tertutup

(Sumber : Hakim dkk., 2017)

Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk darisaluran terbuka, di antaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar(atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka. Kriteria Perencanaan (Hakim dkk., 2017) :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / *Slope* maksimal (s_{max}) = $1 \cdot 10^{-3}$ m/m
- Dimensi saluran (W_s) = $B = 2H$ (Metcalf & Eddy, 2003)
- *Freeboard* = 150-20% = 0,1 - 0,2 (Chow, 1959)
- Kekasaran saluran (n) = 0,013 – 0,014 (saluran terbuka berbahan beton)

Tabel 2. 2. Nilai Koefisien Kekasaran *Manning*

Bahan Batas	n <i>Manning</i>
Kayu yang diketam (serut)	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: (Triatmodjo, 1996))

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A) (Chow, 1959)

$$A = \frac{Q}{v}$$

dengan :

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/s)

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

- Kedalaman Saluran (H) (Chow, 1959)

$$H = \frac{A}{B}$$

dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = Lebar saluran pembawa (m)

- Kedalaman total (H_{total})

$$H_{total} = H + (\%F_b \times H)$$

dengan:

H_{total} = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

F_b = 5 – 30% ketinggian

- Cek kecepatan

$$v = \frac{Q}{A}$$

dengan:

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/s)

- Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H}$$

dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

B = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

H = Lebar saluran pembawa

- *Slope* Saluran

$$S = \left(\frac{n v}{R^{2/3}} \right)^2$$

dengan:

S = Kemiringan saluran (m/m)

n = koefisien kekasaran *Manning*

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

R = jari-jari Hidrolis (m)

- *Headloss* saluran

$$H_f = S \times L$$

dengan:

H_f = *Headloss* saluran (m)

S = *slope* saluran (m/m)

L = panjang saluran (m)

2.2.2 *Screen*

Screen atau penyaringan merupakan unit operasi pertama dalam pengolahan air limbah. Fungsi penyaringan ini adalah untuk menghilangkan zat padat yang kasar yang berukuran besar. Pada umumnya proses tersebut dengan jalan melewatkan air limbah melalui saringan kasar untuk menghilangkan benda-benda padatan yang berukuran besar. Bagian-bagian dari *screening* terdiri dari batang-batang yang dipasang secara paralel yang biasa disebut sebagai “kisi” atau *screen* kasar yang digunakan untuk mendegradasi bahan-bahan yang kasar. Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan (Metcalf & Eddy, 2003) :

- a. Kerusakan pada alat pengolahan,
- b. Mengurangi efektivitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan, dan
- c. Kontaminasi pada aliran air.

Cara pembersihan ada dua cara yaitu secara manual dan mekanis. Perbedaan *screen* kasar dan halus adalah pada jauh dekatnya jarak antara *bar screen*. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0.3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 - 40 mm dan berbentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang di bersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal. *Screening* mempunyai beberapa tipe, antara lain sebagai berikut (Rahardjo, 2002):

1. *Coarse screen* (Penyaring Kasar)

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, 2003).

Sampah padat yang berukuran sedang atau besar disaring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. *Screening* dengan pembersihan secara mekanik, bahannya terbuat dari *stainless steel* atau dari plastik. Terdapat beberapa tipe *screen* secara mekanik, dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



(a)

(b)

Gambar 2. 2. (a) Denah dan Potongan Screen Pembersihan secara Manual. (b) Tipe Bar Screen dengan Pembersihan secara Mekanik

(Sumber : Rahardjo, 2022)

Tabel 2. 3. Kriteria Perencanaan Coarse Screen

<i>Parameter</i>	<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Cleaning method</i>	
		<i>Manual</i>	<i>Mechanical</i>
<i>Bar Size:</i>			
– <i>Width</i>	mmmm	5 – 15	5 – 15
– <i>Depth</i>		25 – 38	25 – 38
<i>Clear spacing between bars</i>	mm	25 – 50	15 – 75
<i>Slope from vertical</i>	°	30 – 45	0 – 30
<i>Approach velocity</i>			
– <i>Maximum</i>	m/sm/s	0.3 – 0.6	0.6 – 1.0
– <i>Minimum</i>			0.3 – 0.5
<i>Allowable headloos</i>	mm	150	150 – 600

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003))

2. *Fine Screen*

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi *clarifier* guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses *trickling filter* (Rahardjo, 2002).

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*) pada umumnya

memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm (Rahardjo, 2002).

3. *Microscreen*

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip dari *microscreens* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm (Rahardjo, 2002).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

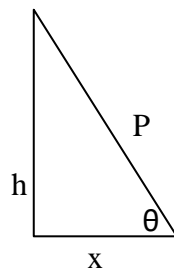
- Tinggi *Bar Screen*

$$H_{\text{sal}} = H_{\text{air}} + \text{Freeboard}$$

dengan:

$$H_{\text{sal}} = \text{tinggi saluran (m)}$$

- Dimensi *Bar Screen*



Panjang kisi (P)

$$P = \frac{h}{\sin \theta}$$

$$X = P \cos \theta$$

dengan:

θ = sudut kemiringan kisi

h = tinggi *bar screen* (m)

x = jarang kemiringan kisi (m)

- Jumlah kisi

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

dengan:

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

r = jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - nd$$

dengan:

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui *screen*

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

dengan:

v_i = kecepatan yang melalui *screen* (m/s)

Q = debit limbah (m³/s)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = tinggi *bar screen* (m)

- *Headloss* pada *bar screen*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{v_i^2 - v^2}{2 \cdot g} \right)$$

dengan:

H_f = *Headloss* (m)

c = Koef. saat *non Clogging*

v_i = Kecepatan yang melalui *screen* (m/s)

v = kecepatan perencanaan (m/s)

2.2.3 Bak Penampung

Bak penampung adalah sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Bak penampung juga merupakan sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, ketika air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan (Sirampun dkk., 2013). Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

a) Volume bak penampung

$$V = Q \times t_d$$

dengan:

V = Volume bak penampung (m³)

Q = Debit limbah (m³/s)

t_d = Waktu detensi (s)

b) Ketinggian total bak penampung

$$H_{total} = H + (10\% - 30\% \times H)$$

dengan:

H_{total} = Kedalaman total bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

$F_b = 10\% - 30\% H$

2.2.4 Koagulasi – Flokulasi

Pengolahan air limbah secara kimia merupakan pengolahan air limbah dengan penambahan bahan kimia koagulan dan flokulan ke dalam air limbah. Beberapa proses pengolahan air limbah secara kimia di sebut proses koagulasi dan flokulasi. Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016).

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel, sedangkan flokulasi merupakan proses penggabungan partikel yang telah mengalami proses destabilisasi. Proses destabilisasi partikel dilakukan dengan penambahan bahan kimia yang bermuatan positif yang dapat menyelimuti permukaan partikel sehingga partikel tersebut dapat berikatan dengan partikel lainnya. Partikel yang telah berikatan akan mudah untuk dipisahkan secara fisik (sedimentasi, flotasi, dan filtrasi) (Masduqi & Assomadi, 2016).

Flokulasi merupakan suatu peristiwa penggabungan partikel-partikel yang telah mengalami proses destabilisasi (koagulasi) dengan penambahan bahan kimia (flokulan) sehingga terbentuk partikel dengan ukuran lebih besar (*macrofloc*) yang mudah untuk diendapkan. Flokulan sintesis merupakan flokulan yang diproduksi dengan berbagai kebutuhan sehingga flokulan ini diproduksi bermuatan negatif (anion), bermuatan positif (kation) dan netral (non ion),

flokulan bermuatan negatif dapat bereaksi dengan partikel bermuatan negatif seperti garam-garam dan logam-logam hidroksida, sedangkan flokulan yang bermuatan positif akan bereaksi dengan partikel bermuatan negatif seperti silika maupun bahan-bahan organik, tetapi hukum itu tidak berlaku secara umum karena flokulan negatif dapat mengikat tanah liat yang bermuatan negatif (Masduqi & Assomadi, 2016).

Beberapa macam koagulan yang sering digunakan dalam proses penjernihan air adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC), aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), ferri klorida (FeCl_3), dan ferri sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Pada umumnya koagulan yang paling sering digunakan oleh masyarakat adalah aluminium sulfat atau yang lebih dikenal dengan tawas. Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan koagulan-koagulan di atas (Rifa'i, 2007):

a) *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

PAC adalah garam khusus pada pembuatan aluminium klorida yang mampu memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat daripada aluminium yang biasa dan garam-garam besi seperti aluminium sulfat atau ferri klorida. Kegunaan dari PAC adalah sebagai koagulan atau flokulan untuk menguraikan larutan yang keruh dan menggumpalkan partikel, sehingga memungkinkan untuk memisah dari medium larutannya. Keuntungan penggunaan PAC sebagai koagulan dalam proses penjernihan air yaitu korosivitasnya rendah karena PAC adalah koagulan bebas sulfat sehingga aman dan mudah dalam penyimpanan dan transportasinya dan penggunaan PAC sebagai koagulan tidak menyebabkan penurunan pH yang cukup tajam (Rifa'i, 2007).

PAC merupakan koagulan anorganik yang tersusun dari polimer makromolekul dengan kelebihan seperti memiliki tingkat adsorpsi yang kuat, mempunyai kekuatan lekat, tingkat pembentukan flok-flok tinggi walau dengan dosis kecil, memiliki tingkat sedimentasi yang cepat,

cakupan penggunaannya luas, merupakan agen penjernih air yang memiliki efisiensi tinggi, cepat dalam proses, aman, dan konsumsinya cukup pada konsentrasi rendah. Keuntungan koagulan PAC yaitu sangat baik untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, memadatkan dan menghentikan penguraian flok, membutuhkan kebasaaan rendah untuk hidrolisis, sedikit berpengaruh pada pH, menurunkan atau menghilangkan kebutuhan penggunaan polimer, serta mengurangi dosis koagulan sebanyak 30-70% (Yunita, 2017).

Dosis PAC yang dibutuhkan dalam pengolahan limbah sabun adalah 5mg/L. Kadar PAC 5mg/L mampu menyisihkan 78,57% COD dan 12,05% BOD pada penelitian yang dilakukan oleh Rahimah (2016). Dosis tersebut terbukti lebih efektif dalam menyisihkan polutan dibandingkan dengan dosis 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, dan 4 mg/L (Rahimah dkk., 2016).

b) Aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

Biasanya disebut tawas, bahan ini sering dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol, tidak mudah terbakar, ekonomis, mudah didapat dan mudah disimpan. Penggunaan tawas memiliki keuntungan yaitu harga relatif murah dan sudah dikenal luas oleh operator *water treatment*. Namun ada juga kerugiannya, yaitu umumnya dipasok dalam bentuk padatan sehingga perlu waktu yang lama untuk proses pelarutan (Rifa'i, 2007).

c) Ferri klorida ($FeCl_3$)

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama (Rifa'i, 2007).

d) Ferri sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

Mampu untuk menghilang warna pada pH rendah dan tinggi serta dapat menghilangkan Fe dan Mn (Rifa'i, 2007).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah & Syauqiah, 2016):

a. Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan mengubah pembubuhan dosis koagulan.

b. Derajat keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum.

c. Jenis koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

d. Kecepatan pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

e. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

f. Tingkat kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

g. Dosis koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik.

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi (Masduqi & Assomadi, 2016; Reynolds & Richards, 1996):

1. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700-1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan *baffle basins* (Reynolds & Richards, 1996).

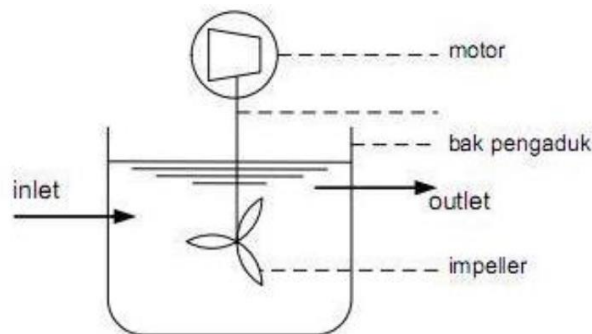
2. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel

untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 15-30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynolds & Richards, 1996). Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi (Prakoso, 2018):

a. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balung-balung) (Prakoso, 2018). Ilustrasi pengadukan mekanis digambarkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



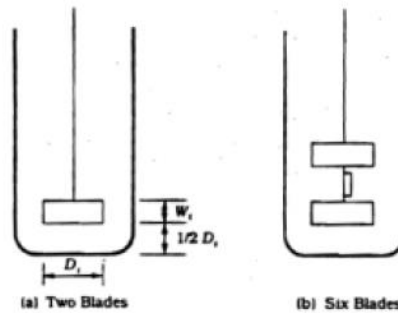
Gambar 2. 3. Pengadukan dengan Pengaduk Mekanis

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996))

- *Paddle impeller*

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat *blades*. *Blades* dapat berbentuk *pitch* atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter *paddle impeller* biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar *paddle* biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak *paddle* yaitu 50% dari diameter di atas dasar tangki. Kecepatan *paddle* berkisar antara 20-150 rpm. *Paddle impeller* tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi

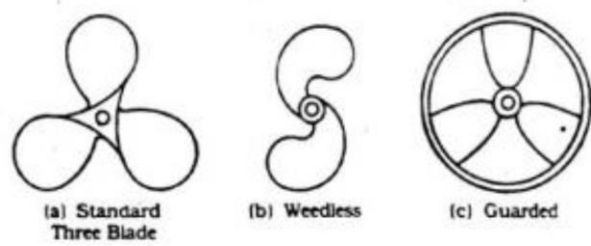
dan gaya geser (Reynolds & Richards, 1996). Ilustrasi pengadukan mekanis menggunakan *paddle impeller* digambarkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2. 4. Tipe *Paddle Impeller*
(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996))

- *Propeller impeller*

Propeller impeller memiliki dua atau tiga *blades*. *Pitch* didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya *pitch* adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter *propeller* maksimum 18 inci. Kecepatan *propeller* biasanya 400-1750 rpm. Agitator *propeller* sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynolds & Richards, 1996). Power yang dihasilkan dari berbagai *impeller* dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang dikembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta *impeller*, K_T dan K_L pada tabel 2.4 (Reynolds & Richards, 1996). Ilustrasi pengadukan mekanis menggunakan *propeller impeller* digambarkan pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2. 5. Tipe *Propeller Impeller*
(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996))

Tabel 2. 4. Konstanta K_T dan K_L

Jenis Impeller	K_T	K_L
<i>Propeller, pitch of 1,3blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller, pitch of 2,3 blades</i>	43,5	1,00
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70,0	4,80
<i>Fan Turbine, 6 blades at 45°</i>	70,0	1,65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$</i>	43,0	2,25
<i>Flat paddles, 2 blades $D_i/W_i = 6$</i>	36,5	1,70
<i>Flat paddles, 2 blades $D_i/W_i = 8$</i>	33,0	1,15
<i>Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$</i>	49,0	2,75

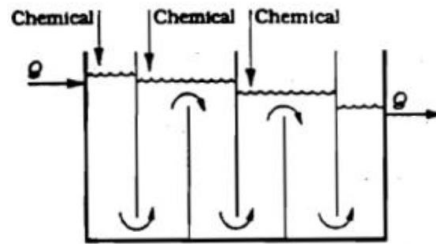
Jenis Impeller	K_T	K_L
<i>Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$</i>	71,0	3,82

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

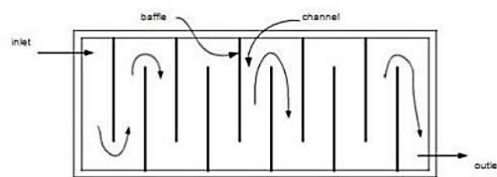
Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal (Prakoso, 2018).

b. Pengadukan hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan *parshall flume*. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya (Prakoso, 2018).



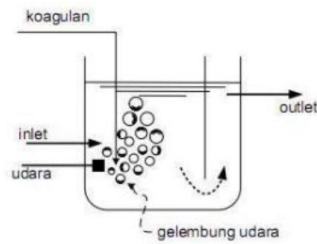
Gambar 2. 6. *Baffle Basin Rapid Mixing*
(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996))



Gambar 2. 7. *Baffle Channel* untuk Pengadukan Lambat
(Sumber : (Masduqi & Assomadi, 2016))

c. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula (Prakoso, 2018).



Gambar 2. 8. Pengadukan Cepat Pneumatis

(Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2016))

Kriteria Bak Koagulasi antara lain sebagai berikut (Eckenfelder, 2000; Qasim, 1985; Reynolds & Richards, 1996) :

1. Waktu detensi (t_d) = 20 – 60 detik
2. Gradien kecepatan (G) = 700-1000/detik
3. Tinggi bak (H) = 1 – 1,25 lebar bak
4. Jarak impeller dari dasar = 30 - 50% diameter impeller
5. Kecepatan turbin impeller= 10 – 150 rpm
6. Diameter turbin impeller = 30 – 50% diameter atau lebar bak
7. Lebar impeller = $1/6 - 1/10$ m
8. $N_{re} > 10000$ Turbulen (Reynolds & Richards, 1996)
9. Dosis alum = 250 mg/l (Eckenfelder, 2000)
10. Kadar alum = 15-22%
11. ρ alum = 960-1010 kg/m³ (Reynolds & Richards, 1996)

Kriteria Bak Flokulasi antara lain sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003; Reynolds & Richards, 1996) :

- a. Waktu detensi (t_d) = 30 – 60 menit
- b. Gradien kecepatan (G) = 50 – 100/detik (Metcalf & Eddy, 2003)
- c. *Freeboard* = 5-30%
- d. $N_{re} > 10000$ Turbulen
- e. Viskositas absolut (μ) = $0,8363 \times 10^{-3}$ N.s/m²
- f. Kecepatan pengadukan = 20 – 150 rpm

- g. Jarak *impeller* dari dasar = 30 - 50% diameter *impeller*
- h. Tinggi Bak Flokulasi = 1 – 1,25 Lebar Bak (Reynolds & Richards, 1996)

2.2.5 Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Bak pengendap atau bak sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Contoh prosesnya ialah pada pengendapan koagulasi-flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2016).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari *suspended solid* tanpa bantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh (Iswahyudi dkk., 2018) :

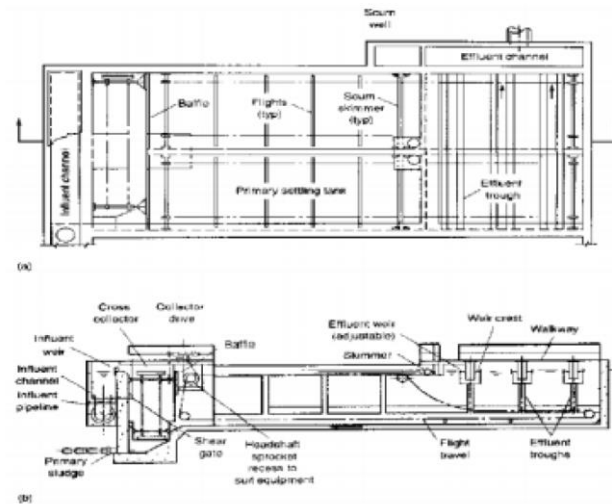
- a. Aliran angin.
- b. Suhu udara permukaan.
- c. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
- d. Suhu terstratifikasi dari iklim.
- e. Bilangan eddy

Desain bak pengendap 1 ada beberapa jenis yaitu (Metcalf & Eddy, 2003):

1. *Rectangular*

Ilustrasi untuk bak *rectangular* ditampilkan pada Gambar 2.9. Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, sehingga salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

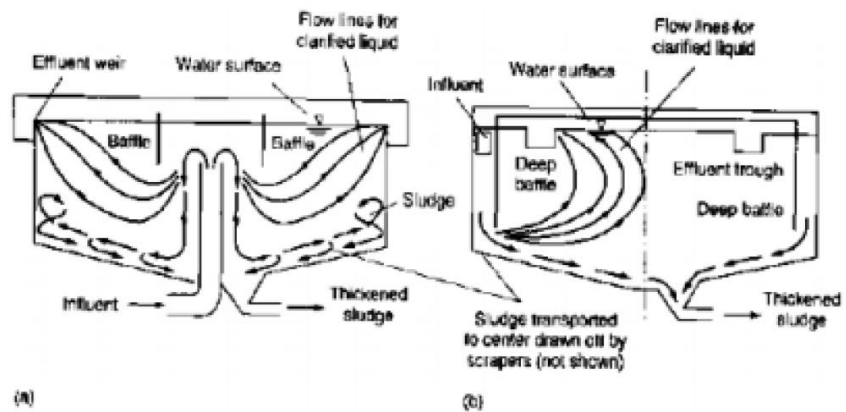
- a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
- b. Saluran inlet dengan port dan orifice,
- c. Saluran *inlet* dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*



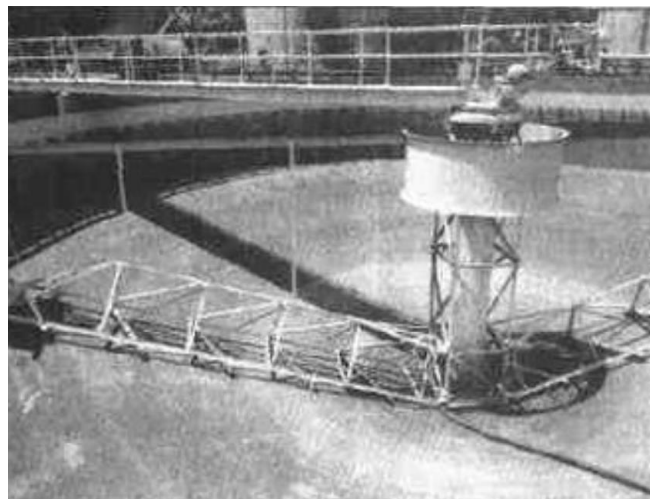
Gambar 2. 9. Denah dan Potongan Sedimentasi Rectangular
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003))

2. Circular

Pada tangki *circular* pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan *range* dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003). Ilustrasi untuk bak *circular* ditampilkan pada Gambar 2.10. sedangkan detail inlet pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 10. Potongan Bak Pengendap *Circular*
 (Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003))



Gambar 2. 11. Detail *Inlet Well* dan *Scraper*
 (Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003))

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *Surface Loading* (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2. 5. Kriteria Perencanaan Sedimentasi Tipe 1

<i>Item</i>	<i>U.S. customary units</i>			<i>SI units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
<i>Overflow rate</i>						
<i>Average flow</i>	gal/ft ² .d	800-1200	1000	m ³ /m ² .d	30-50	40
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	2000-3000	2500	m ³ /m ² .d	80-120	100
<i>Weir loading</i>	gal/ft.d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250
<i>Detention time</i>	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
<i>Overflow rate</i>						
<i>Average flow</i>	gal/ft ² .d	600-800	700	m ³ /m ² .d	24-32	28
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .D	1200-1700	1500	m ³ /m ² .d	48-70	60
<i>Weir loading</i>	gal/ft.d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003))

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

1. Zona Inlet

Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

2. Zona Outlet

Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

3. Zona Settling

Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

4. Zona Sludge

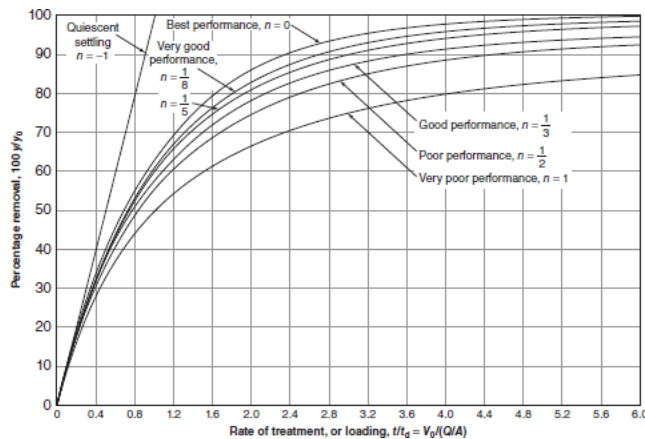
Kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet.

Inlet baffle efektif dalam mengurangi kecepatan awal yang tinggi dan mendistribusikan aliran pada luas penampang yang seluas mungkin. Jika baffle lebar penuh digunakan, baffle harus memanjang dari 150 mm di bawah permukaan hingga 300 mm di bawah bukaan pintu masuk (Metcalf & Eddy, 2004). Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel

Menentukan peformasi dari bak Sedimentasi berdasarkan persen removal TSS, bisa memilih menggunakan efektivitas performancinya.



Gambar 2. 12. Performance curves for settling basins of varying effectiveness
(Sumber: Fair dkk., 1971)

- Massa jenis partikel flok

$$\rho = Sg \times \rho \text{ air}$$

dengan:

$Sg = \text{specific gravity}$

$\rho = \text{massa jenis partikel flok (kg/m}^3\text{)}$

$\rho \text{ air} = \text{massa jenis air (kg/m}^3\text{)}$

- Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \left(\frac{V_s \times 18 \times \mu}{g \times (\rho_s - \rho)} \right)^{0,5}$$

dengan:

$v_s = \text{kecepatan pengendapan (m/s)}$

$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$\nu = \text{viskositas kinematis (m}^2\text{/s)}$

$S_s = \text{specific gravity}$

- Cek kecepatan penggerusan ($V_{scouring}$)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (Sg - 1) \times D_p}{\alpha}}$$

dengan:

$\lambda, \beta = \text{kontrol penggerusan}$

$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$d_p = \text{diameter partikel (m)}$

2.2.6 *Activated Sludge*

Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi yang pertama kali dilakukan di Inggris pada awal abad 19. Sejak itu proses ini diadopsi seluruh dunia sebagai pengolah air limbah domestik sekunder secara biologi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO₂ dan H₂O, NH₄ dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan (Gani dkk., 2022).

Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya. Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) adalah merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut (Gani dkk., 2022).

Penerapan sistem ini diharapkan dapat menghasilkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Diharapkan pemanfaatan sistem daur ulang air limbah akan dapat mengatasi permasalahan persediaan cadangan air tanah demi kelangsungan kegiatan industri dan kebutuhan masyarakat akan air. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Air daur ulang yang kami kerjakan dapat dimanfaatkan dengan aman untuk kebutuhan konsumsi air seperti *cooling tower*, *boiler laundry*, *toilet flusher*, penyiraman tanaman, *general cleaning*, *fish pond car wash* dan kebutuhan air yang lainnya (Gani dkk., 2022).

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam

kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Apabila dibandingkan dengan sistem sebelumnya, operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *activated sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil sehingga bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi (Gani dkk., 2022).

Adapun jenis-jenis proses di dalam *activated sludge*, yaitu (Gani dkk., 2022) :

a. Konvensional

Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, *secondary clarifier* dan *recycle sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.

b. Nonkonvensional

1) Step aerasi:

- Step aerasi ini merupakan tipe *plug flow* dengan perbandingan F/M atau *substrat* dan mikroorganisme menurun menuju *outlet*.
- *Inlet* air buangan masuk melalui 3 - 4 titik di tangki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen dititik yang paling awal.
- Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek

2) Tapered Aerasi

Jenis proses pengolahan pada lumpur aktif ini hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

3) Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

- *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
- *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

4) *Pure Oxygen*

Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan td pendek.

5) *High Rate Aeration*

Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Melalui proses ini akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.

6) *Extended Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan *time detention* (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.

7) *Oxidation Ditch*

Bentuk *oksidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut (Hammer, 1931):

a. Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga

mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen (Hammer, 1931).

b. Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakteri sehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain (Metcalf & Eddy, 2003; Ting dkk., 1994):

- Makro nutrient

Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2003).

- Mikro nutrient

Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni. Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Perry & Green, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Ting dkk., 1994).

c. Komposisi organisme

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah *free ciliata* diikuti dengan *stalk ciliata* dan terdapat beberapa rotifera (Hammer, 1931).

d. pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5-7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H_2SO_4 atau NaOH maupun larutan kapur (Hammer, 1931).

e. Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, 1931).

Adapun parameter penting untuk *design activated sludge* adalah (Gani dkk., 2022) :

a. F / M ratio.

Merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.

b. Rasio resirkular (R).

Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *activated sludge* yang digunakan.

c. Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).

d. Waktu detensi (t_d). t_d adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi

e. Volume bak aerasi (V).

Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan untuk menghitung antara lain:

- Partikulat BOD di Effluent

$$\text{BOD Partikulat} = \frac{VSS}{SS} \times fb$$

dengan :

fb = Biodegradable Fraction of VSS

BODPartikulat = Partikulat BOD di Effluent (mg BOD/mg SS)

- BOD yang teremoval

$$\text{BOD Removal} = \text{BOD influent (Co)} \times \% \text{ removal}$$

dengan :

Co = BOD influent (mg/L)

% removal = Kemampuan meremoval unit

- BOD yang lolos

$$Cr = Co - \text{BOD teremoval}$$

dengan :

Co = BOD Influent(mg/l)

Cr = BOD effluent (mg/l)

- Debit Resirkulasi (Qr)

$$Qr = Qo \times R$$

dengan :

Qr = Debit resirkulasi (m³/s)

R = Ratio resirkulasi

Q_o = Debit per unit (m^3/s)

- Debit yang masuk ke bak AS (Q_{in})

$$Q_{in} = Q_o + Q_r$$

dengan :

Q_{in} = Debit yang masuk ke bak AS ($m^3/hari$)

Q_o = Debit per unit (m^3/s)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

- Volume reaktor

$$V = \frac{Y \times \theta \times Q \times (S_0 - S)}{X_v (1 + f_b \times K_d \times \theta_c)}$$

dengan :

V_r = Volume reaktor (m^3)

θ_c = Umur lumpur (hari)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

Y = Koefisien batas pertumbuhan ($mg.V_{ss}/mg.BOD$)

S_i = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

S_e = BOD terlarut dari effluent (mg/L)

X_v = MLSS (mg/L)

F_b = Biodegradable Fraction of VSS

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

- Konsentrasi resirkulasi

$$X_r = \frac{X(1+R)}{R}$$

dengan :

X_r = konsentrasi resirkulasi

X_x = konsentrasi MLSS ($mgVSS/L$)

R = rasio resirkulasi

- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (γ_{obs})

$$\gamma_{obs} = \frac{Y}{1+(f_b K_d \theta_c)}$$

dengan :

γ_{obs} = Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

Y = Koefisien batas pertumbuhan (mg.Vss/mg.BOD)

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

θ_c = umur lumpur (hari)

- Kontrol F/M ratio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times S_o}{Vol \times X_v}$$

dengan :

F/M = F/M ratio (/hari)

Q_{in} = Debit per unit (m³/s)

S_o = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/ m³)

Vol = Volume reaktor (m³)

X_v = MLVSS (kg/m³)

- Kebutuhan oksigen total

$$\text{Kebutuhan Oksigen total} = \frac{1,46 \times Q_{in} \times (C_o - C_r)}{10^3}$$

dengan :

Q_{in} = Debit influent (m³/s)

C_o = BOD influent (mg/l)

C_r = BOD effluent (mg/l)

- Kebutuhan power aerator

$$\Sigma P = n \text{ aerator} \times P \text{ aerator}$$

dengan :

P = Kebutuhan power aerator

n aerator = jumlah aerator

2.2.7 Clarifier

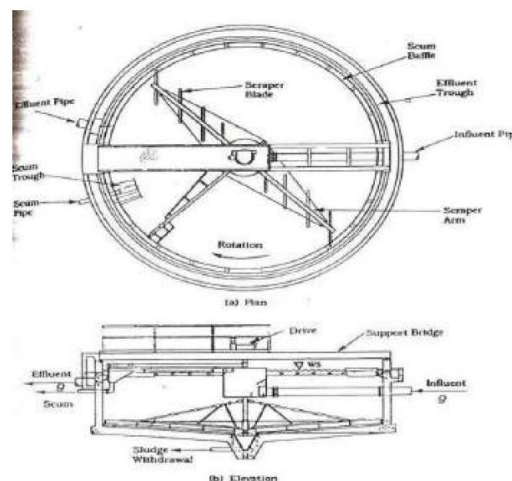
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri *pathogen* lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan *clarifier*. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis (Fikri dkk., 2021).

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper 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 di bawah 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 (Fikri dkk., 2021).

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). 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 tertampung di *secondary clarifier* ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di *secondary clarifier* dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll (Fikri dkk., 2021).

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 (Fikri dkk., 2021). Ilustrasi *clarifier* ditampilkan pada Gambar 2.13 berikut ini:



Gambar 2. 13. Secondary Clarifier

(Sumber : Fikri dkk, 2021)

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada unit clarifier antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel (v_s)

$$V_s = \frac{H}{td}$$

dengan:

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H = tinggi clarifier (m)

t_d = waktu detensi (s)

- Diameter partikel (D_p)

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

Dengan :

V_s = kecepatan pengendapan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ν = viskositas kinematis (m^2/s)

S_s = specific gravity

- Kecepatan horizontal di bak (V_h)

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H}$$

dengan:

V_h = kecepatan horizontal (m/s)

Q_{in} = debit yang masuk ke clarifier (m^3/s)

D = diameter clarifier (m)

H = tinggi clarifier (m)

- MLVSS pada Clarifier

$$MLVSS_{\text{Clarifier}} = MLVSS_{\text{total}} - MLVSS_{AS}$$

dengan:

$MLVSS$ = kebutuhan $MLVSS$ yang tetap ada di bak activated sludge

- Massa Solid Total pada Clarifier

$$M_{\text{solid total}} = MLVSS_{\text{clarifier}} \times V_{\text{clarifier}}$$

dengan:

$M_{\text{solid total}}$ = massa solid total di clarifier

$MLVSS_{\text{clarifier}}$ = kebutuhan $MLVSS$ yang ada di clarifier

2.2.8 *Sludge Treatment*

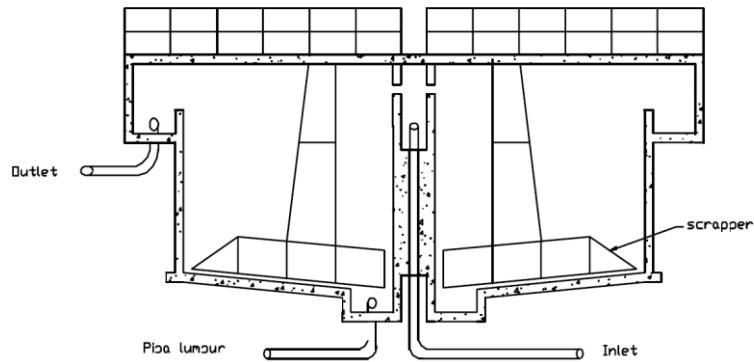
Pengolahan air limbah menghasilkan *sludge* berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. *Sludge* dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks (Rahardjo, 2002). Hal ini disebabkan karena (Rahardjo, 2002):

- *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:
- Mereduksi kadar lumpur.
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Jenis-jenis unit pengolahan lumpur meliputi (Rahardjo, 2002):

1. *Sludge Thickener*

Sludge thickener adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe *thickener* yang digunakan adalah *gravity thickener* dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem *gravity thickener* ini, lumpur diendapkan di dasar bak *sludge thickener*. Ilustrasi *sludge thickener* ditampilkan pada Gambar 2.14 berikut ini:

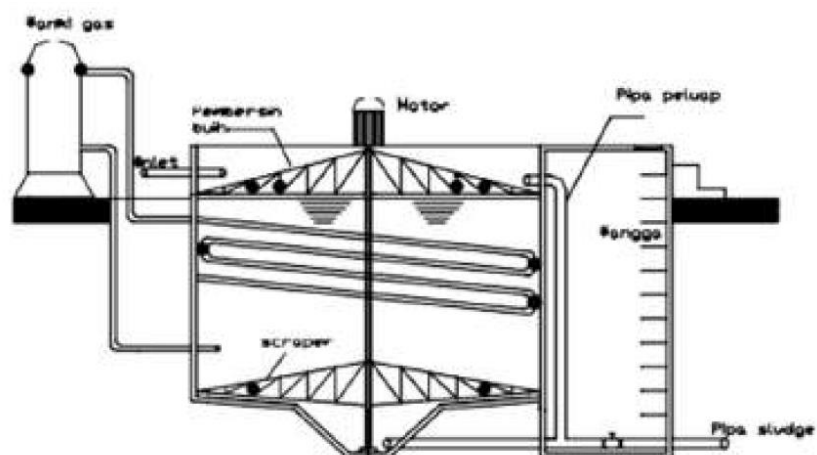


Gambar 2. 14. *Sludge Thickener*

(Sumber : Rahardjo, 2002)

2. *Sludge Digester*

Sludge digester berfungsi untuk menstabilkan *sludge* yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang (Rahardjo, 2002). Ilustrasi *sludge digester* ditampilkan pada Gambar 2.15 berikut ini:



Gambar 2. 15. *Sludge Digester*

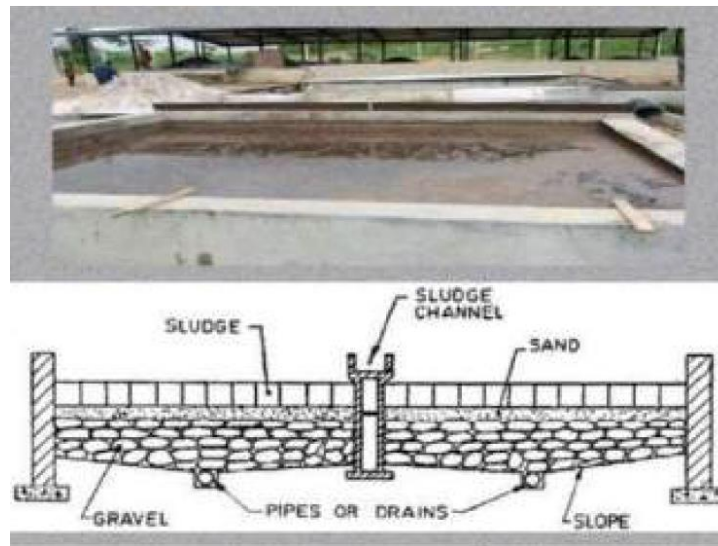
(Sumber : Rahardjo, 2002)

3. Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari thickener. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 5 hari dengan bantuan sinar matahari (Rahardjo, 2002). Pengeluaran air lumpur dilakukan melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan drying bed. Bak pengering berupa bak dangkal berisi media penyaring pasir dan batu kerikil sebagai penyangga pasir, serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar bak pengering dibuat saluran atau pipa pembuangan air (drain). Media penyaring merupakan bahan yang memiliki pori besar untuk ditembus air. Pasir, ijuk, dan kerikil merupakan media penyaring yang sering digunakan.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Pada mulanya keluarnya air melalui saringan berjalan lancar dan kecepatan pengurangan air tinggi, tetapi jika bahan penyaring (pasir) tersumbat maka proses pengurangan air hanya tergantung kecepatan penguapan. Kecepatan pengurangan air pada bak pengering lumpur seperti ini bergantung pada penguapan dan penyaringan, dan akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, sinar matahari, hujan, ketebalan lapisan lumpur, kadar air, sifat lumpur yang masuk dan struktur kolam pengeringan (Metcalf & Eddy, 2004).

Ilustrasi *sludge drying bed* ditampilkan pada Gambar 2.16 berikut ini:



Gambar 2. 16. Sludge Drying Bed

(Sumber : Rahardjo, 2002)

2.3 Persentase Penyisihan

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. Berikut merupakan persentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literasi yang ada pada tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2. 6. Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Bak Sedimentasi	TSS	50-70%	Metcalf and Eddy (2003), <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Book) Fourth Edition</i> hal 396
	BOD	25-40%	
	COD	38%	
Activated Sludge	BOD	85-95%	Sperling (2007), <i>Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors</i> hal 13
	COD	85-90%	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
	Fosfat	10-85%	Qasim (1985), <i>Waste Water Treatment Plant Planning, Design and Operation</i>
Clarifier	TSS	80-90%	Qasim (1985), <i>Waste Water Treatment Plant Planning, Design and Operation</i>
	BOD	80%	Water Environment Federation (2015), <i>Clarifier Design: WEF Manual of Practice No. FD-8</i>
	COD	80%	

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-efluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut (Alfiah, 2013) :

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Perancangan profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu (Alfiah, 2013):

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- Kehilangan tekanan pada bak
- Kehilangan tekanan pada pintu
- Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus.

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut (Alfiah, 2013):

- a) Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
- b) Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan menekuivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekuivalen sekaligus S.
- c) Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
- d) Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok.
Cara perhitungan dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara (Alfiah, 2013):

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada *clear well*.

- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah *intake*.

Jika tinggi muka air bangunan sesudah *intake* ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di *intake* untuk menaikkan air (Alfiah, 2013).