

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Limbah Industri Alkohol**

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

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 milligram 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 28oC. akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 1987).

Kandungan BOD pada Industri Pengolahan Alkohol ini adalah 12299 mg/L. Sedangkan sesuai standar baku mutu BOD yang ada dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.5 Tahun 2014. Tentang baku mutu limbah cair Industri Alkohol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah 40 mg/L

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

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, 2007).

Kandungan COD air buangan pada industri ini adalah 34000 mg/L, sedangkan baku mutu COD dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.5 Tahun 2014 yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L.

### 2.1.3 TSS (Total Suspended Solid)

Limbah pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi atau penyaringan (Metcalf & Eddy, 2003)

TSS merupakan parameter universal yang digunakan untuk standar effluent (bersama dengan BOD) yang mana hasil dari pengolahan digunakan untuk proses pengontrolan. (Metcalf & Eddy, 2003). *Total Suspended Solid* (TSS) pada air buangan industri ini adalah 3630 mg/L, sedangkan TSS dalam baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.5 Tahun 2014 yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 40 mg/L

### 2.1.4 Derajat Keasaman (pH).

Konsentrasi *ion hydrogen* adalah kualitas yang penting untuk air bersih dan air buangan. Konsentrasi *ion hydrogen* biasanya disebut pH, yang artinya sebagai logaritma negatif dari konsentrasi *ion hydrogen*.

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$$

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan. (Metcalf & Eddy, 2003)

Untuk pH yang ada di industri pengolahan Alkohol ini adalah 4,1 (asam). Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk

Industri Alkohol, tingkat keasaman yang diperbolehkan berada pada 6-9 sebelum dibuang ke badan air.

### **2.1.5 Sulfida**

Hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktifitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam (Sugiharto, 1987).

Kandungan sulfida air buangan industri alkohol ini adalah 0,119 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,002 mg/L (Peraturan Pemerintah No.22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Nasional).

## **2.2 Bangunan Pengolah Air Buangan**

Tujuan utama pengolahan limbah adalah mengurangi partikel-partikel, BOD dan COD, membunuh organisme patogen, menghilangkan nutrient, mengurangi bahan-bahan yang tidak dapat di degradasi agar konsentrasinya menjadi lebih rendah. Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Pengolahan terhadap tingkat perlakuannya dan pengolahan terhadap sifatnya. Dilihat dari tingkat perlakuannya proses pengolahan air limbah terdiri dari 4 (empat) tahapan dalam pengolahan air limbah, yakni:

- Pengolahan Pendahuluan (Pre-Treatment)
- Pengolahan Pertama (Primary-Treatment)
- Pengolahan Kedua (Secondary-Treatment)
- Pengolahan Ketiga (Tertiary-Treatment)
- Pengolahan Lumpur (Sludge-Treatment)

### **2.2.1 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. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Dan disetiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka di butuhkan kemiringan.

### 1. Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria yang digunakan adalah sebagai berikut :

- *Freeboard* = 5% - 30%
- Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

**(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 316)**

- Koefisien Kekasaran Pipa = 0,002 – 0,012 (Pipa Plastik Halus).  
Sesuai dengan berikut ini

**Tabel 2.1** Koefisien Kekasaran Pipa

No	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0,012 - 0,015
	Dengan Lapisan Semen	0,012 - 0,013
	Pipa Berlapis Gelas	0,011 - 0,017
2	Pipa Asbestos Semen	0,010 - 0,015
3	Saluran Pasangan Batu Bata	0,012 - 0,017
4	Pipa Beton	0,012 - 0,016
5	Pipa Baja Spiral dan Pipa Kelingan	0,013 - 0,017
6	Pipa Plastik Halus (PVC)	0,002 - 0,012
7	Pipa Tanah Liat ( <i>Vitrified Clay</i> )	0,011 - 0,015

**(Sumber : (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum  
Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017  
Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah  
Domestik, Halaman 101)**

**2. Rumus yang digunakan**

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa :

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

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

Q = debit limbah (m<sup>3</sup>/s)

v = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

- Diameter Pipa (D)

$$A = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Keterangan :

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

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = *phi* dengan besar 3,14

- Jari – Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \times D}$$

Keterangan :

R = jari – jari hidrolis (m)

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = *phi* dengan besar 3,14

- *Headloss* saluran pembawa

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

Keterangan :

H<sub>f</sub> = kehilangan tekanan pipa (m)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

- *Slope* pipa

$$S = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan :

S = kemiringan pipa (m/m)

H<sub>f</sub> = kehilangan tekanan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

### 2.2.2 Screening

Unit pertama yang digunakan dalam pengolahan air limbah adalah screening atau penyaringan. Unit screening berfungsi untuk menghilangkan padatan yang berukuran besar pada air limbah. Screen dipasang melintang arah aliran air agar padatan kasar dapat tersaring dengan kecepatan yang digunakan lebih dari 3 m/s. Saat air limbah dilewatkan unit penyaring, padatan akan tertinggal atau tersaring tidak terjepit (Metcalf & Eddy, 2003).

Apabila padatan kasar lolos sebelum pengolahan limbah, akan menyebabkan kerusakan pada alat pengolah limbah sehingga dapat menyebabkan berkurangnya efektifitas pengolahan. Secara umum, screen dibedakan berdasarkan jenis saringannya yaitu saringan kasar dan halus. Berdasarkan jenis saringannya berikut adalah tipe tipe Screening (Metcalf & Eddy, 2003):

- *Fine Screen* (Saringan Halus)

Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran 2,3 – 6 mm. Biasanya digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*primary treatment*). *Fine Screen* terdiri dari *fixed* dan *movable Screen*. *Fixed Screen* atau *static* dipasang secara permanen dalam posisi vertikal, miring, atau horizontal, dan harus dibersihkan dengan garu, 12 gigi, atau

sikat. Pada *movable Screen* pembersihan dilakukan secara terus menerus selama pengoperasian (Qasim, 1985). Jenis saringan halus yang dikembangkan adalah ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*) dan anak tangga (*step type*) (Metcalf & Eddy, 2003).



**Gambar 2.1** Ayakan Kawat (Static Wedge Wire)



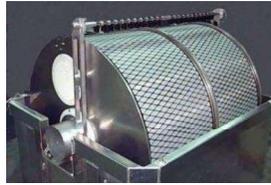
**Gambar 2.2** Drum Putar (Rotary Drum)



**Gambar 2.3** Anak Tangga (Step Type)

- *Micro Screen*

*Micro Screen* merupakan saringan yang memiliki ukuran kurang dari  $0,5 \mu\text{m}$  dan digunakan untuk menyaring material mengapung, alga, dan benda di dalam limbah yang berukuran kecil.



**Gambar 2.4** Micro Screen

- *Coarse Screen* (Saringan Kasar)

*Coarse Screen* berbentuk seperti batangan paralel, umumnya dikenal sebagai "*bar screen*" digunakan untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6mm - 150mm seperti ranting kayu, kain dan kotoran lainnya. *Coarse Screen* berfungsi untuk melindungi pompa, *valve*, pipa dan peralatan lainnya terhadap kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. Metode pembersihan *bar screen* terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.

Pembersihan manual biasanya dilakukan di industri kecil atau menengah. Prinsip yang digunakan adalah material padat yang kasar dihilangkan dengan rangkaian material baja yang ditempatkan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0,3 - 0,6 m/s sehingga padatan tidak tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan penampang batang berbentuk persegi panjang. *Bar Screen* dibersihkan secara manual, biasanya layar dimiringkan 30° hingga 45° ke arah horizontal.



**Gambar 2.5** Coarse Screen (Saringan Kasar)

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang *Screening*.

### 1. Kriteria Perencanaan

Pada perancangan ini digunakan *Coarse Screen* atau saringan kasar yang diletakkan pada ujung saluran pembawa yang berupa pipa di bak kontrol. Adapun kriteria perencanaan dapat dilihat pada di bawah ini:

**Tabel 2.2** Kriteria Perencanaan Screen

Parameter	U.S Customary Unit			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
Ukuran Batang						
0,2 - 0,6	In		0,2 - 0,6	mm	5,0 - 15	5,0 - 15
Kedalaman	In	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar batang	In	1,5 - 2,0	0,3 - 0,6	mm	25 - 30	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 - 45	0,3	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimum	Ft/s		1,0 - 1,6	m/s		
<i>Headloss</i>	In	6	Jun-24	m	150	150 - 600

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering

Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 316)

- Koef saat *non clogging* ( $c$ ) = 0.7
- Koef saat *clogging* ( $C_c$ ) = 0.6

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering

Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 320)

- *Headloss* ( $H_f$ ) = 150 mm – 800 mm

(Sumber : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158)

## 2. Rumus yang digunakan

- **Menghitung Bak Kontrol**

### 1) Menghitung Volume Bak

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

$$V = Q \times T$$

Keterangan :

Q = debit air limbah ( $m^3/s$ )

T = waktu detensi (s)

V = volume bak kontrol ( $m^3$ )

### 2) Menghitung Dimensi Bak

$$V = L \times W \times H$$

Keterangan :

V = volume bak kontrol ( $m^3$ )

L = panjang bak kontrol (m)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

### 3) Menghitung kecepatan air pada bak kontrol

$$v = \frac{Q}{W \times H}$$

Keterangan :

v = kecepatan kontrol ( $m^2/s$ )

Q = debit air limbah ( $m^3/s$ )

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

### 4) Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol

$$H_{\text{bak kontrol/total}} = h \text{ air} + \text{freeboard}$$

$$\text{freeboard} = \% \text{freeboard} \times h \text{ air}$$

Keterangan :

$H_{bak\ kontrol/total}$  = kedalaman bak kontrol yang direncanakan  
(m)

$h_{air}$  = tinggi air yang melalui *Bar Screen*

*freeboard* = ruang kosong untuk antisipasi luapan

• **Menghitung Dimensi *Bar Screen***

Sumber Perhitungan : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 164)

1) Menghitung panjang *Bar Screen*

Panjang *Bar Screen* (sisi miring)

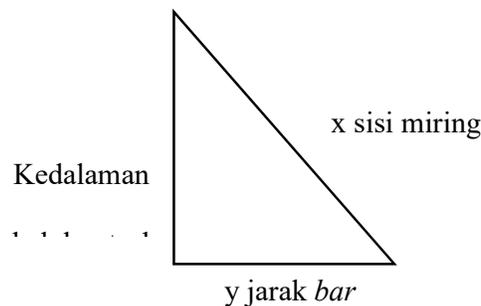
$$\sin\theta = \frac{H_{bak\ kontrol/total}}{x}$$

$$x = \frac{H_{bak\ kontrol/total}}{\sin\theta}$$

Lebar *Bar Screen* / Jarak *Bar Screen*

$$\cos\theta = \frac{y}{x}$$

$$y = x \times \cos\theta$$



Keterangan : *screen*

$H_{bak\ kontrol/total}$  = kedalaman bak kontrol yang direncanakan  
(m)

$x$  = sisi miring *bar screen* (m)

$y$  = Jarak *bar screen* (m)

$\theta$  = derajat kemiringan *bar screen* ( $^{\circ}$ )

2) Menentukan jumlah kisi dan batang

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

$$\text{Jumlah batang} = \text{Jumlah kisi } (n) - 1$$

Keterangan :

$W_s$  = lebar bak kontrol (m)

$n$  = jumlah kisi (kisi / buah)

$d$  = lebar antar kisi (m)

$r$  = jarak bukaan (m)

3) Menentukan lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

$W_c$  = lebar bukaan kisi (m)

$W_s$  = lebar bak kontrol (m)

$n$  = jumlah kisi (kisi / buah)

$d$  = lebar antar kisi (m)

• **Kecepatan**

1) Kecepatan yang melalui *Bar Screen*

$$v_i = \frac{Q}{(W_c \times h_{air})}$$

2) Kecepatan aliran saat pembersihan

$$v_c = \frac{Q}{\% \text{sumbatan} \times W_c \times h_{air}}$$

Keterangan :

$v_c$  = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

$Q$  = debit air limbah (³/s)

$v_i$  = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

$h_{air}$  = kedalaman air (m)

• **Headloss pada *Bar Screen***

1) *Headloss* saat non *clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \frac{v_1^2 - v^2}{2g}$$

2) *Headloss* saat *clogging* pembersihan

$$H_f = \frac{1}{cc} \frac{vc^2 - v1^2}{2g}$$

**(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 321)**

Keterangan :

$H_f$  = kehilangan tekanan pada *Bar Screen* (m)

$v_i$  = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

$vc$  = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

$v$  = kecepatan awal aliran air (m/s)

$c$  = koef saat *non clogging*

$cc$  = koef saat *clogging*

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.2.3 Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa, alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO<sub>2</sub> dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam.

Larutan dikatakan asam bila :  $H^+ > H$  dan  $pH < 7$

Larutan dikatakan netral bila :  $H^+ = H$  dan  $pH = 7$

Larutan dikatakan basa bila :  $H^+ < H$  dan  $pH > 7$

Ada beberapa cara menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti :

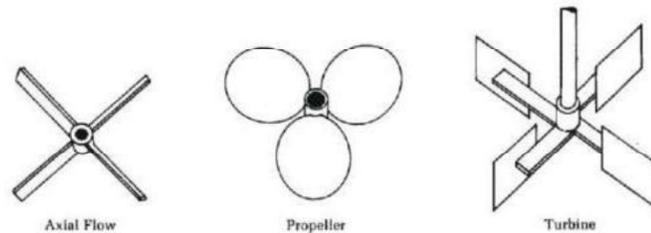
- Pencampuran limbah.
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH, Na<sup>2</sup>CO<sup>3</sup> atau NH<sup>4</sup>OH ke limbah

asam.

- Penambahan asam kuat ( $H^2SO^4$ , HCl) dalam limbah basa.
- Penambahan  $CO^2$  bertekanan dalam limbah basa. Pembangkitan  $CO^2$  dalam limbah basa.

Proses pencampuran dilakukan dengan prinsip mekanisme mixing yaitu membuat aliran turbulen dengan tenaga penggerak motor dimana bak pengaduk dilengkapi dengan peralatan mekanis.

- a) Paddle dengan putaran 2 – 150 rpm.
- b) Turbine dengan putaran 10 – 150 rpm.
- c) Propeller dengan putaran 150 – 1500 rpm.



**Gambar 2.6** Jenis – jenis Impeller

(**Sumber** : McGraw Hill, *Water Resources and Environmental Engineering Third edition, 1998, hal 204*)

### 1. Kriteria Perencanaan

- Waktu detensi ( $T_d$ ) = 20 – 60 detik (bak netralisasi)
- Gradien kecepatan ( $G$ ) = 700 – 1000 /detik
- Diameter *Paddle* ( $D_i$ ) = 30 – 80 % dari Diameter bak
- Lebar *Paddle* ( $W_i$ ) = 1/6 – 1/10 Diameter paddle
- Kecepatan putaran = 20 – 150 rpm  
*Paddle* ( $n$ )
- Kedalaman bak ( $H$ ) = 1-1.25  $D/W$
- *Reynold number* ( $RNe$ ) = >10000
- Kecepatan pipa *Outlet* ( $v$ ) = 1 – 1.25 m/s
- Jenis *Impeller* = *Flat paddles, 2 blades (single*

*paddle*)

- Koefisien Turbulen (KT) = 2.25

*(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 182 -187)*

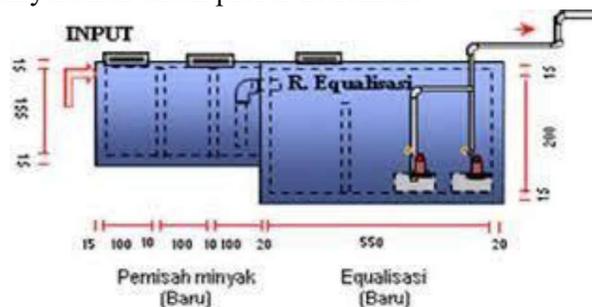
- pH = 6 – 9
- Konsentrasi  $\text{Ca(OH)}_2$  = 20%

*(Sumber: SNI 6774:2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air)*

#### 2.2.4 Bak Equalisasi

Fungsi dari Bak Equalisasi yaitu untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang, sehingga debit dan kualitas air buangan yang masuk ke instalasi pengolahan dalam keadaan seimbang dan tidak berfluktuasi. Selain itu pada proses fluktuasi juga memiliki tujuan bagi pengolahan limbah industri antara lain :

- a. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis.
- b. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang diisyaratkan untuk proses netralisasi.



**Gambar 2.7** Bak Equalisasi

Sumber : Effendi, 2023

. Rumus yang digunakan untuk unit Bak Equalisasi, sebagai berikut

- Volume Bak Equalisasi  $V = Q \times T_d$

Keterangan :

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$Q$  = Debit ( $m^3/s$ )

$T_d$  = Waktu detensi

- Dimensi Bak Equalisasi  $V = L \times B \times H$

Keterangan :

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$L$  = Panjang (m)

$B$  = Lebar (m)

$H$  = Tinggi (m)

## 2.2.5 Koagulasi Flokulasi

### A. Koagulasi

Koagulasi biasa didefinisikan sebagai suatu proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan juga virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

**Tabel 2.3** Jenis-jenis Koagulan

<b>Nama</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Reaksi dengan Air</b>	<b>pH Optimum</b>
Aluminium Sulfat	Bongkah, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium Aluminate	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric Sulfat	Kristal Halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	Bongkah, Cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	Kristal Halus	Asam	>8,5

(Sumber: Sugiarto, 2006)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu:

1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

## 2. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

## 3. Dosis Koagulan

Dosis koagulan terhadap air yang mempunyai kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflokk yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

## 4. Pengadukan (*Mixing*)

Pengadukan atau *Mixing* diperlukan supaya terjadi tumbukan antar partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflokk. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

## 5. Pengaruh Garam

Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibanding dengan kation. Jadi

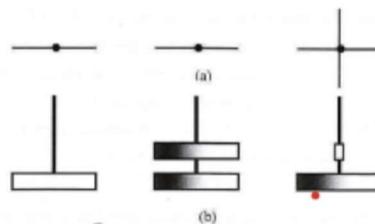
natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan *pneumatic*. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling) masing-masing memiliki kriteria impeller yang berbeda.

**Tabel 2.4** Kriteria Impeller

<b>Tipe Impeller</b>	<b>Kecepatan Putaran</b>	<b>Dimensi</b>	<b>Ket</b>
Paddle	20 – 150 rpm	Diameter 50 – 80% lebar bak Lebar 1/6 – 1/10 diameter paddle	
Turbine	10 – 150 rpm	Diameter 30 – 50% lebar bak	
Propeller	400 – 1750 rpm	Diameter maks. 45 cm	Jumlah pitch 1 – 2 buah

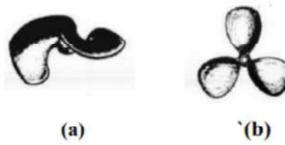
(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:185)



Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping  
(Sumber: Maduqi & Assomadi, 2012)



Tipe Turbin  
(Sumber: Qasim et al., 2000)



Tipe Propeller (a) 2 Blade (b) 3 Blade  
(Sumber: Qasim et al., 2000)

Adapun beberapa faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu  $G$  dan  $td$ . Nilai waktu pengadukan mekanis dan gradient kecepatan dapat dilihat dalam di bawah ini:

Nilai Waktu Pengadukan Mekanis Dan Gradient Kecepatan

Waktu pengadukan, $td$ (detik)	Gradient Kecepatan ( $\text{detik}^{-1}$ )
20	1000
30	900
40	790
$\geq 50$	700

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:184)

Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan harus memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta  $K_L$  dan  $K_T$ .

### Konstanta KL dan KT Untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1,3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_i/W_i=4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i=6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i=8$	71,0	3,82

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996,188)

### B. Flokulasi

Flokulasi adalah sebuah proses dengan mengadakan kontak antara partikel koloid yang mengalami destabilisasi pada proses koagulasi sebelumnya sehingga ukuran partikel bisa bertambah lebih besar (Faryandi, 2020). Dalam proses flokulasi terjadi penyatuan flok yang terbentuk dari proses koagulasi menjadi lebih besar. Proses flokulasi terjadi pengadukan lambat sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. (Lolo et al., 2020).

Fungsi dari proses flokulasi sendiri yakni sebagai pengoptimalan laju kontak antara partikel yang terdestabilisasi (Utamingrum, 2018). Pada proses flokulasi sendiri menggunakan flokulan. Flokulan yakni bahan kimia yang

berguna untuk membentuk flok menjadi besar dan stabil (Setiyono, 2014).

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil ( $20$  sampai  $100 \text{ s}^{-1}$ ) selama  $10$  hingga  $60$  menit atau nilai GTd (bilangan *camp*) berkisar  $48.000$  hingga  $210.000$ . Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi yaitu:

1. Air sungai
    - Waktu detensi = minimum  $20$  menit
    - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
  2. Air waduk
    - Waktu detensi =  $30$  menit
    - $G = 10 - 75 \text{ s}^{-1}$
  3. Air keruh
    - Waktu detensi dan G lebih rendah
  4. Menggunakan koagulan garam besi
    - G tidak lebih dari  $50 \text{ s}^{-1}$
  5. Flokulator terdiri dari  $3$  kompartemen
    - G kompartemen  $1$ : nilai terbesar
    - G kompartemen  $2$ :  $40\%$  dari G kompartemen  $1$
    - G kompartemen  $3$ : nilai terkecil
  6. Penurunan kesadahan
    - Waktu detensi =  $30$  menit
    - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
  7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
    - Waktu detensi =  $15 - 30$  menit
    - $G = 20 - \text{s}^{-1}$ - GTd =  $10.000 - 100.000$
- (Masduqi & Assomadi, 2012: 110)

### 2.2.6 Bak Pengendap I (Sedimentasi)

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan (*solid-liquid*) dengan menggunakan gaya gravitasi untuk mengendapkan partikel suspensi. Bak Sedimentasi bertujuan untuk mengurangi kekeruhan dan kontaminan air yang telah tergabung dalam flok-flok yang dihasilkan pada proses flokulasi. Sedimentasi dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi dimanatujuannya adalah untuk memperbesar partikel padatan sehingga menjadi lebih berat dan dapat tenggelam dalam waktu lebih singkat.

Sedimentasi bisa dilakukan pada awal maupun pada akhir dari unit sistim pengolahan. Jika kekeruhan dari *influent* tinggi, sebaiknya dilakukan proses sedimentasi awal (*primary sedimentation*) didahului dengan koagulasi dan flokulasi, dengan demikian akan mengurangi beban pada *treatment* berikutnya. Sedangkan *secondary sedimentation* yang terletak pada akhir *treatment* gunanya untuk memisahkan dan mengumpulkan lumpur dari proses sebelumnya (*activated sludge, oxidation ditch, trickling filter*, dan lain-lain) dimana lumpur yang terkumpul tersebut dipompakan ke unit pengolahan lumpur tersendiri, proses ini dilakukan setelah air dan pengotor terpisah.

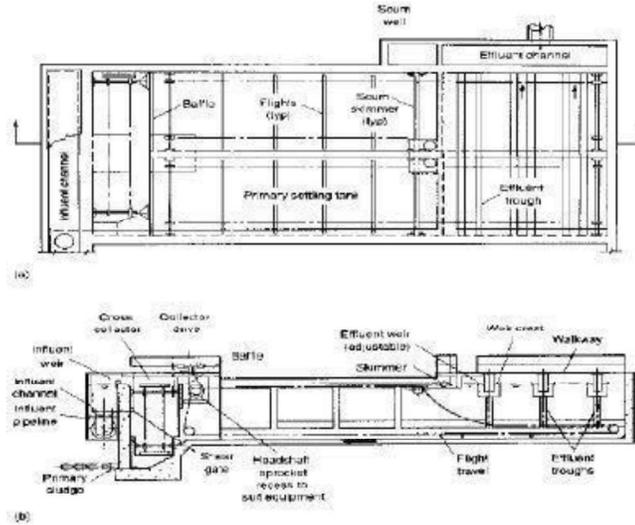
Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid tanpa bantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin.
2. Suhu udara permukaan.
2. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
3. Suhu terstratifikasi dari iklim.

#### 4. Bilangan eddy

Desain dari bak pengendap 1 sendiri memiliki beberapa jenis, yaitu:

##### 1. *Rectangular*



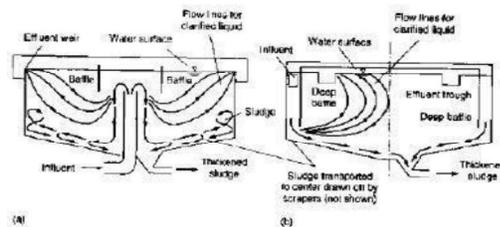
Bak Pengendap Rectangular (a) Denah (b) Potongan

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003)

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

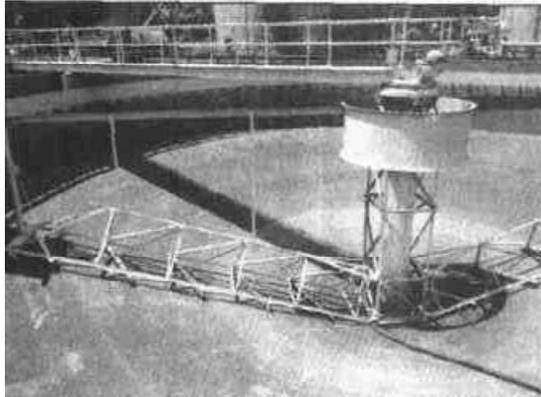
- Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- Saluran inlet dengan port dan orifice
- Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*

##### 2. *Circular*



Bak Pengendap Circular

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003)



Bak Pengendap Circular

(Sumber Metcalf & Eddy, 2003)

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).

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).

#### 1. Kriteria Perencanaan

- Bak sedimentasi berbentuk circular
- Kedalaman (H) = 3 - 4,9 m
- Diameter (d) = 3- 60 m
- Slope dasar = 1/16 – 1/6 mm/mm
- *Flight speed* = 0,02 – 0,05 m/menit

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Waktu detensi (td) = 1,5– 2,5 jam
- *Over flow rate*
  - Rata rata = 30 – 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari
  - Jam puncak = 80 – 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari
- *Wier loading* = 125 – 500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak
- Kecepatan aliran menuju inlet well = 0,3 – 0,75 m/s

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Konsentrasi solid = 4% - 12%
- Suhu = 30° C
- Viskositas kinematis ( $\nu$ ) = 0,8039 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s
- Viskositas absolute ( $\mu$ ) = 0,798 x 10<sup>-3</sup> N.detik/m<sup>2</sup>

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Masa jenis air ( $\rho$ ) = 997 kg/m<sup>3</sup>
- Specific gravity solid (Ss) = 1,4
- Specific gravity sludge = 1,02

(Metcalf & Eddy, 2003)

### 2.2.7 *Activated Sludge*

Pengolahan *activated sludge* atau lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan

mikroba sebagai pengurai. Bakteri dan mikroba ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas. Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut

- Konvensional  
Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, *secondary clarifier* dan *recycle sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.
- Non-konvensional
  - *Step Aeration*  
*Step aeration* 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 maksud untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.
  - *Tapered Aeration*  
*Tapered aeration* Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi
  - *Contact Stabilization*  
Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:
    1. *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
    2. *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).
  - *Pure Oxygen*  
*Pure oxygen* diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan td pendek.
  - *High Rate Aeration*

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

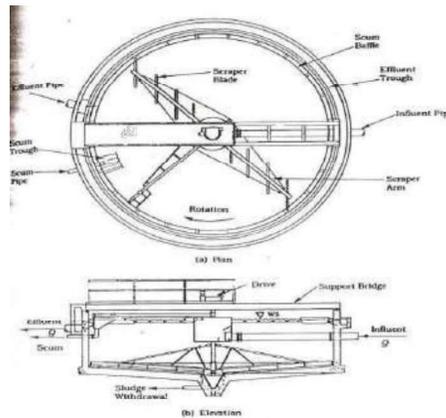
➤ *Extended Aeration*

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

### **2.2.8 Bak Pengendap II (*Clarifier*).**

*Clarifier* digunakan untuk pengolahan lebih lanjut apabila pada pengolahan sebelumnya masih terdapat zat atau kandungan yang masih berbahaya apabila dibuang ke badan air atau ke lingkungan. Pengolahan ini biasanya dilakukan pada pabrik yang menghasilkan air limbah yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan lainnya. Unit bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya adalah proses lumpur aktif.

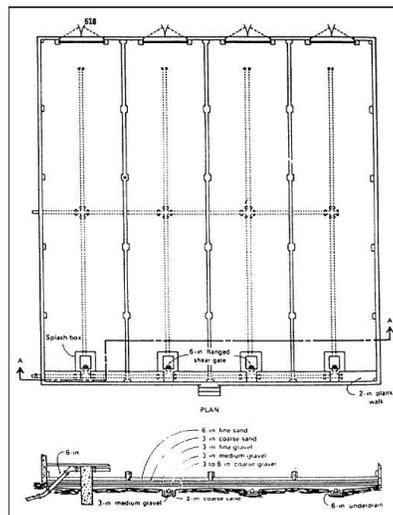
Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada pengolahan bangunan clarifier biasanya terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge 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.



Secondary Clarifier

### 2.2.9 Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. 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 10 hari dengan bantuan sinar matahari.



Sludge Drying Bed

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, halaman 157

Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	Sludge loading rate	100-300	kg/m <sup>2</sup> .tahun	
4.	Tebal bed	20-30	cm	
5.	Lebar bed	5-8	m	
6.	Panjang bed	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size 	0,3-0,75	mm	Metcalf &Eddy 4 <sup>th</sup> Edition., 2003
10.	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200-300	mm	Metcalf &Eddy 4 <sup>th</sup> Edition., 2003
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
15.	Koef. Keceragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

### 2.3 Persen Removal

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki *Removal* yang berbeda. Persen *Removal* berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%). Besar persen *Removal* unit pengolahan air limbah industri tepung tapioka dapat dilihat pada Tabel berikut

Tabel Persen Removal

Unit Pengolahan	% <i>Removal</i>	Sumber
<b>1. Pre Treatment</b>		
<i>Screening</i>	-	-
Bak Equalisasi	-	-
Netralisasi	pH 6.5 – 9.0	(Reynolds & Richards, 1996) <i>Unit Operations &amp; Processes in Environment Engineering</i> , page 161
<b>2. Primary Treatment</b>		
Bak Pengendap I	50%-70%TSS	(Huisman, 1977) <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration</i> . Delft University of Technology. Halaman 12
<b>3. Secondary Treatment</b>		
<i>Activated Sludge (Step Aeration System)</i>	80% - 99% BOD	(Cavaseno, 1987) <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i> . McGraw-Hill, Inc. Halaman 15
	50% - 95% COD	
	60% - 85% TSS	

	97%-98%	
	Sulfida	
<b>4. Tertiary Treatment</b>		
<i>Clarifier</i>	35% - 95% TSS	Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse 4 th , 2003, Halaman 497

#### 2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hydraulic grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan 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 :

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :
  - a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
  - b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
  - c. Kehilangan tekanan pada pompa
  - d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
3. Tinggi Muka Air Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan 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:

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara bangunan kedua dengan 60 bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum bangunan kedua demikian seterusnya hingga bangunan terakhir.