

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Karakteristik Limbah Cair utama yang masuk di IPAL PIER

Beberapa industri yang berbeda mengolah limbahnya di IPAL PIER memiliki karakteristik yang berbeda pula. Air limbah yang dialirkan ke dalam IPAL PIER harus sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh IPAL PIER. Jika air limbah suatu industri yang akan dialirkan ke IPAL PIER melebihi standar yang sudah ditetapkan, maka industri tersebut harus membuat pengolahan air limbah awal (pre-treatment) sebelum akhirnya air limbah dialirkan ke IPAL PIER.

No.	Parameter	Nilai	Satuan
<b>A</b>	<b>Fisika</b>		
1.	Suhu	40	°C
2.	Jumlah padatan terlarut	2000	mg/L
3.	Jumlah padatan tersuspensi	400	mg/L
4.	Warna	300 skala	Pt. CO.
<b>B</b>	<b>Kimia</b>		
1.	Derajat keasaman (pH)	6 – 9	
2.	Besi (Fe)	30	mg/L
3.	Mangan (Mn)	10	mg/L
4.	Barium (Ba)	5	mg/L
5.	Tembaga (Cu)	5	mg/L
6.	Seng (Zn)	5	mg/L
7.	Krom hexavalen (Cr <sup>6+</sup> )	2	mg/L
8.	Krom total (Cr)	2	mg/L
9.	Kadmium (Cd)	1	mg/L
10.	Raksa / merkuri (Hg)	0.005	mg/L
11.	Timbal (Pb)	3	mg/L
12.	Timbal putih (Sn)	2	mg/L
13.	Arsen (As)	1	mg/L
14.	Selenium (Se)	1	mg/L
15.	Nickel (Ni)	2	mg/L
16.	Kobalt (CO)	1	mg/L

17.	Sianida (CN)	1	mg/L
18.	Sulfida (S)	1	mg/L
19.	Flourida (F)	30	mg/L
20.	Chlorine bebas (Cl <sub>2</sub> )	1	mg/L
21.	Amoniak bebas (NH <sub>3</sub> )	20	mg/L
22.	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	50	mg/L
23.	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	5	mg/L
24.	Phospat (PO <sub>4</sub> )	20	mg/L
25.	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	500	mg/L
26.	COD	3000	mg/L
27.	BOD	1500	mg/L
28.	Deterjen (MBAS)	5	mg/L
29.	Phenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	2	mg/L
30.	Minyak lemak	30	mg/L
31.	Ammonium (NH <sub>4</sub> )	15	mg/L
32.	Clorida (Cr)	300	mg/L

Sumber: IPAL PIER

Adapun karakteristik utama yang akan diolah berdasarkan baku mutu Rekomendasi dinas lingkungan hidup kab pasuruan No. 600.1/1025/424.081/2022 . Karakteristik utama yang akan diolah antara lain :

#### **a. Biological Oxygen Demand (BOD)**

*Biological Oxygen Demand* adalah solusi yang ditemukan dalam skala laboratorium yang digunakan mengukur kebutuhan oksigen terhadap volume standar air limbah atau cairan lainnya dengan waktu yang telah ditentukan.

*Biological Oxygen Demand* adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik melalui proses biologis secara dekomposisi aerobik. BOD merupakan empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi didalam air.

Adapun kandungan BOD air buangan pada limbah di PIER ini adalah 1684,1 mg/L , sedangkan baku mjt u yang mengatur besar kandungan BOD yang diprbolehkan dibuang ke badan air adalah 48,57 mg/L.

### **b. Chemical Oxygen Demand (COD)**

Pengujian nilai *Chemical Oxygen Demand* bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD yaitu ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang sepenuhnya dilakukan 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, "Biological Wastewater Treatment", Vol 1, hal 40)

Adapun kandungan COD air buangan pada limbah di PIER ini adalah 603,25 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke badan air adalah 100 mg/L.

### **c. Total Suspended Solid (TSS)**

*Total Suspended Solid* merupakan padatan yang tidak terlarut dan risak dapat mengendap yang menyebabkan kekeruhan pada air. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, sel-sel mikroorganisme, bahan-bahan organik tertentu, dan sebagainya. Terjadinya penggumpalan yang kemudian diikuti pengendapan merupakan contoh air permukaan mengandung tanah liat dalam bentuk suspensi yang dapat tahan sampai berbulan-bulan dan keseimbangan terganggu oleh zat-zat lain (Fardiaz, 1992)

Adapun kandungan TSS air buangan pada limbah di PIER ini adalah 232 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke badan air adalah 141,43 mg/L.

### **d. Amonia (NH<sub>3</sub>)**

Amonia merupakan senyawa kimia dengan rumus NH<sub>3</sub>. Amonia merupakan senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan akan tetapi memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di Bumi. Pada bentuk cairan amonia terdapat dalam dua bentuk yaitu amonia bebas atau tidak terionisasi (NH<sub>3</sub>) dan dalam bentuk ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Sifat-sifat amonia antara lain (Hidayah, 2012) :

1. Amonia adalah gas yang tidak berwarna tetapi memiliki bau yang sangat merangsang sehingga gas ini mudah dikenal melalui baunya

2. Amonia sangat mudah larut dalam air, yaitu pada keadaan standar , 1 liter air terlarut 1180 liter amonia.
3. Amonia bersifat korosif pada tembaga dan timah.
4. Amonia merupakan gas yang mudah mencair.

Adanya amonia didalam perairan menjadi indikasi terjadinya kontaminasi oleh pemupukan yang berasal dari material organik. Bila air tersebut dikonsumsi oleh masyarakat untuk mandi, cuci , dan kakus maka dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan (Dewi,2013)

Adapun kandungan Amonia air buangan pada limbah di PIER ini adalah 78,87 mg/L , sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan Amonia yang diprbolehkan dibuang ke badan air adalah 10 mg/L.

#### **d. Derajat Keasaman (pH)**

Derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan atau cairan. Nama pH berasal dari *power of hydrogen*. pH memiliki definisi logaritma negative pada konsentrasi ion hydrogen :

$$\text{pH} = - \log_{10} (\text{H}^+)$$

Rentang pH yang paling sesuai untuk keberadaan kehidupan biologis adalah 6-9. Air limbah yang memiliki pH ekstrim sulit untuk pengolahan secara biologis dan jika dilakukan penetralan pH sebelum air limbah diolah akan merubah kondisi perairan alami (*Metcalf Eddy, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition, 2003 , hal 57*)

Adapun nilai pH air buangan pada limbah di PIER ini adalah 9,84 , sedangkan baku mutu yang mengatur besar nilai pH yang diprbolehkan dibuang ke badan air adalah 6-9.

## **2.2. Bangunan Pengolahan Air Buangan**

Rancangan bangunan pengolahan air buangan disesuaikan dengan parameter yang akan diolah agar dapat memenuhi baku mutu pada saat akan dibuang ke lingkungan sehingga tidak mencemari lingkungan. Unit-unit pengolahan air buangan yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

### 2.2.1. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan 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). Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol. Apabila terdapat ukuran screen lebih besar dari saluran, maka peletakan screen dipasang di bak kontrol.

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / *slope* =  $1 \cdot 10^{-3}$  m/m
- Freeboard = 10 - 20%
- Dimensi saluran (Ws) =  $B = 2H$

Rumus yang digunakan :

1. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa ( $m^2$ )

Q = debit limbah ( $m^3/detik$ )

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

2. Kedalaman Saluran (H)

$$A = \frac{A(m^2)}{B(m)}$$

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

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

B = lebar saluran pembawa (m)

### 3. Ketinggian Total

$$H_{\text{total}} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

*Freeboard* = tinggi jagaan / jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air = 20 %

### 4. Cek Kecepatan

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

Keterangan :

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

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

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

### 5. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

### 6. Kemiringan (*Slope*)

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

Keterangan :

s = kemiringan saluran / *slope* (m/m)

n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa

$v$  = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/detik)

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

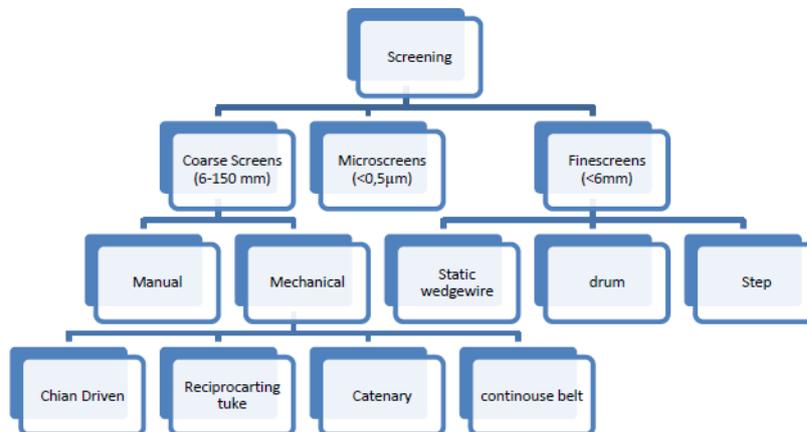
### 2.2.2. Screening

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah screening. Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

1. Kerusakan pada alat pengolahan,
2. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
3. Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, diantaranya coarse screen, fine screen dan microscreen. Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan fine screen mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). Microscreen pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf & Eddy, 2003)

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. Screen pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf & Eddy, 2003)



**Gambar 2. 1** Bagian Tipe Screening

- *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)



**Gambar 2. 2** Manual Bar Screen**Gambar 2. 3** Mechanical Bar Screen**Tabel 2. 1** Kriteria Perencanaan Bar Screen

<b>Bagian-Bagian</b>	<b>Manual</b>	<b>Mekanik</b>
Ukuran Kisi		
- Lebar	5-15 mm	5-15 mm
- Dalam	25-38 mm	25-38 mm
Jarak antar kisi	25-50 mm	15-75 mm
Kemiringan / <i>Slope</i>	30°-40°	0°-30°
Kecepatan saat melalui <i>bar screen</i>	0,3-0,6 m/s	0,6-1 m/s
Hilang Tekan / <i>Headloss</i>	150 mm	150-600 mm

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition*)

- Fine Screen (Penyaring Halus)

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 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter. Adapun ukuran padatan yang dapat disisihkan dalam proses penyaring halus (*Fine Screen*) adalah padatan yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2003).

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. Adapun kriteria perencanaan penyaring halus (*Fine Screen*) di antaranya sebagai berikut :

**Tabel 2. 2** Kriteria Perencanaan Penyaring Halus (Fine Screen)

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi			Mm
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i> Pengolahan Primer	
<i>Drum</i> (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i> Pengolahan Pendahuluan	

	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
	Halus		$6 \times 10^{-3} - 35 \times 10^{-3}$	<i>Stainless steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Menyisihkan residual dari <i>suspended solid sekunder</i>
<i>Horizontal Reciprocating</i>	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan
<i>Tangential</i>	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition*)

**Tabel 2. 3** Kemampuan Penyisihan Fine Screen

Jenis Screen	Ukuran Bukaannya		Kemampuan Penyisihan (%)	
	Inchi	Mm	BOD	TSS
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5-30
<i>Rotary Drum Screen</i>	0,01	0,25	25-50	25-45

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition*)

- **Micro Screen**

*Microscreen* berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5  $\mu\text{m}$ .

Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microscreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%.

Prinsip yang digunakan pada jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan *microscreen* tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan  $60^\circ$  terhadap horizontal.(Metcalf & Eddy, 2003).

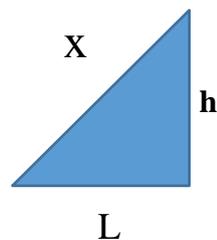
Adapun faktor bentuk screen antara lain sebagai berikut :

**Tabel 2. 4** Faktor Bentuk Screen

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen ( $\beta$ )	Bentuk
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber: Qasim, 1985)

Jenis screen yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah coarse screen dengan jenis pembersihan manual. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:



## 1. Jumlah batang kisi (n)

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

Keterangan :

W<sub>s</sub> = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar screen (m)

## 2. Lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

W<sub>c</sub> = lebar bukaan kisi (m)W<sub>s</sub> = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

d = lebar screen (m)

## 3. Kecepatan pada bar screen

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{w_c \times h}$$

Keterangan :

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

Q = debit yang melalui kisi (m<sup>3</sup>/detik)W<sub>c</sub> = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

## 4. Tinggi kisi (h)

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

Keterangan :

H = kedalaman saluran (m)

## 5. Panjang kisi (x)

$$X = \frac{h}{\sin \alpha}$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45°-60°)

## 6. Jarak kemiringan kisi (L)

$$L = \cos \alpha \cdot x$$

Keterangan :

$\alpha$  = kemiringan kisi ( $45^\circ$ - $60^\circ$ )

$x$  = panjang kisi (m)

7. Headloss pada bar screen (saat clogging)

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left( \frac{V_{ic}^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan :

$H_f$  = headloss (m)

$V_{ic}$  = kecepatan melalui kisi saat clogging ( $V_i \times 2$ ) (m/detik)

$v$  = kecepatan sebelum melalui kisi (m/detik)

$C_c$  = koefisien headloss untuk bar screen saat clogging (0,6)

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320* )

8. Headloss pada bar screen (saat non clogging)

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

Keterangan

$H_f$  = headloss (m)

$V_i$  = kecepatan melalui kisi (m/detik)

$v$  = kecepatan sebelum melalui kisi (m/detik)

$C_c$  = koefisien headloss untuk clear bar screen (0,7)

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320* )

### 2.2.3. Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Kriteria perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,6 – 2,5 m/s
- Freeboard = 10-20%
- Waktu detensi (td) = 24 jam (sumber: Qasim, 1999)
- Kedalaman = 4 meter (optimal)

Rumus yang digunakan :

1. Volume bak penampung (V)

$$V = Q \times td$$

Keterangan

V = volume bak (m<sup>3</sup>)

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

td = waktu detensi

2. Ketinggian Total (H total)

$$H \text{ total} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan

H = ketinggian air dalam bak (m)

Freeboard = tinggi jagaan / jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air = 20 %

3. Dimensi bak penampung

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan :

V = volume bak (m<sup>3</sup>)

P = panjang bak (m), dengan 2 x L

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

#### 2.2.4. 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 – 9. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitasbuffer yang terjadi karena ada produk  $\text{CO}_2$  dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam.

Larutan dikatakan asam bila :  $\text{H}^+ > \text{H}^-$  dan  $\text{pH} < 7$  Larutan dikatakan netral bila :  $\text{H}^+ = \text{H}^-$  dan  $\text{pH} = 7$  Larutan dikatakan basa bila :  $\text{H}^+ < \text{H}^-$  dan  $\text{pH} > 7$

Ada beberapa cara menetralsasi 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  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  atau  $\text{NH}_4\text{OH}$  ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat ( $\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCl}$ ) dalam limbah basa.
- Penambahan  $\text{CO}_2$  bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan  $\text{CO}_2$  dalam limbah basa.

### **1. Mencampur air limbah yang bersifat asam dengan basa**

Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2. Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktor titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang 18 dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalen sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif, reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  atau  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

### **2. Air limbah yang bersifat basa**

Banyak bahan asam kuat yang efektif digunakan untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa, biasanya yang digunakan adalah sulfaric atau hydrochloric acid. Asap gas yang terdiri dari 14 %  $\text{CO}_2$  dapat digunakan untuk netralisasi dengan melewati gelembung-gelembung gas melalui air limbah  $\text{CO}_2$  ini

terbentuk dari carbonik acid yang dapat bereaksi dengan basa. Reaksi ini lambat tapi cukup untuk mendapatkan pH antara 7 hingga 8. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan *spray tower*.

Adapun agen netralisan yang biasa digunakan untuk proses netralisasi limbah industri secara umum beserta klasifikasinya adalah sebagai berikut :

- Senyawa basa :
  - Lime dalam bentuk apapun (Senyawa Basa Kuat)
  - Natrium Hidroksida (NaOH) (Senyawa Basa Kuat)
  - Magnesium Hidroksida (Mg(OH)<sub>2</sub>) (Senyawa Basa Sedang)
  - Natrium Karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (Senyawa Basa Lemah)
  - Natrium Bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) (Senyawa Basa Lemah)
- Senyawa asam :
  - Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Senyawa Asam Kuat)
  - Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) (Senyawa Asam Lemah)

Dalam proses netralisasi, terdapat dua (2) sistem yang digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem-sistem tersebut diantaranya sebagai berikut :

- Sistem batch biasa digunakan pada air limbah yang memiliki debit lebih kecil dari 380 m<sup>3</sup>/hari
- Sedangkan sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman (pH). Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara 1-3 ft<sup>3</sup>/mm.ft<sup>2</sup> atau 0,3-0,9 m<sup>3</sup>/mm.m<sup>2</sup> dengan kedalaman 9 ft (2,7 m). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara 0,2-0,4 hp/ribu.gal (0,04 - 0,08 kW/m<sup>3</sup>) (W. Wesley Eckenfelder, 2000).

#### **Kriteria Perencanaan :**

- Waktu tinggal di dalam bak (Td) = 20 – 60 s
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 / s

(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and*

*Reuse 4th edition, hal 182)*

- Diameter paddle ( $D_i$ ) = 50 – 80% diameter bak
- Lebar paddle ( $W_i$ ) = 1/6 – 1/10 diameter paddle
- Kecepatan putaran paddle ( $n$ ) = 20 -150 rpm

*(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 185)*

- Kedalaman bak ( $H$ ) = 1 – 1,25 diameter
- Jarak paddle dari dasar = 30-50%  $D_i$

*(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184)*

- Reynold number (NRE) = >10.000

*(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 187)*

- Zat penetral = HCl
- Massa jenis HCl = 1,18 kg/l

Rumus yang digunakan :

1. Dosis penetral (Dosis HCl)

$$Dosis\ HCl = \frac{F(mg)}{vol.\ air\ (L)} \times \frac{1}{BM(\frac{g}{mol})} \times \frac{1}{10^3(\frac{mg}{gr})}$$

Keterangan :

Y = nilai dosis HCl (mg)

BM = berat molekul HCl (mol)

2. Kebutuhan HCl

$$\text{Kebutuhan HCl} = \text{dosis HCl} \times Q$$

Keterangan :

Q = debit limbah (l/hari)

3. Volume HCl

$$V = \frac{\text{kebutuhan HCl}}{\rho\ HCl} \times \text{periode pelarutan}$$

Keterangan :

$\rho$  HCl = berat jenis HCl (kg/l)

4. Kebutuhan air pelarut

$$V \text{ air pelarut} = \frac{\frac{100\% - 20\%}{20\%} \times \text{kebutuhan HCl}}{\rho \text{ air}}$$

Keterangan :

% = konsentrasi larutan yang diinginkan

$\rho$  air = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

5. Volume bak pembubuh

$$V = V \text{ HCl} + \text{air pelarut}$$

6. Dimensi bak pelarut

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

Keterangan :

V = volume bak pembubuh (m<sup>3</sup>)

D = diameter bak pembubuh (m)

H = kedalaman bak (m)

7. Power yang dibutuhkan

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan :

V = volume bak pembubuh (m<sup>3</sup>)

P = daya yang dibutuhkan (watt)

$\mu$  = viskositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)

G = gradient kecepatan (detik<sup>-1</sup>)

8. Diameter impeller

$$Di + \left( \frac{\rho}{K_T \times n^3 \times \rho} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Keterangan :

Di = Diameter Impeller (m)

K<sub>T</sub> = koefisien Turbulensi

n = kecepatan putaran paddle (rps)

$\rho$  air = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

## 9. Cek Bilangan Reynolds (Nre)

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan :

- Di = Diamater Impeller (m)  
 $\mu$  = viskositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)  
 n = kecepatan putaran paddle (rps)  
 $\rho$  air = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

## Tangki Netralisasi

## 1. Volume limbah

$$V \text{ limbah} = Q \times t_d$$

$$V \text{ total} = V \text{ limbah} + V \text{ pembuluh}$$

Keterangan :

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

Td= waktu tinggal (s)

## 2. Dimensi tangki netralisasi

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

Keterangan :

V = volume tangki (m<sup>3</sup>)

D = diameter tangki (m)

H = kedalaman bak (m)

## 3. Power yang dibutuhkan

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan :

V = volume tangki netralisasi (m<sup>3</sup>)

P = daya yang dibutuhkan (watt)

 $\mu$  = viskositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)G = gradient kecepatan (detik<sup>-1</sup>)

## 4. Diameter impeller

$$Di + \left( \frac{\rho}{Kt \times n^3 \times \rho} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Keterangan :

Di = Diameter Impeller (m)

$K_T$  = koefisien Turbulensi

n = kecepatan putaran paddle (rps)

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

5. Cek bilangan Reynolds (Nre)

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan :

Di = Diameter Impeller (m)

$\mu$  = viskositas absolute ( $\text{N.s/m}^2$ )

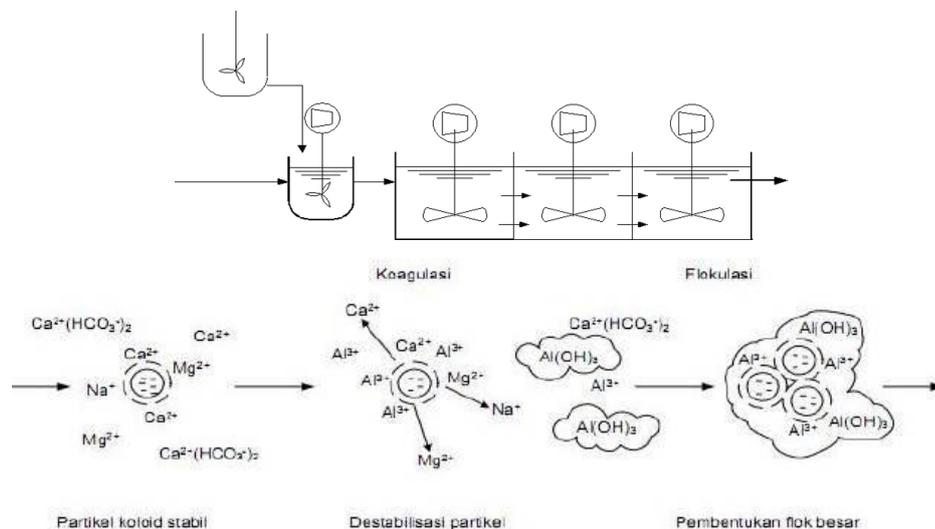
n = kecepatan putaran paddle (rps)

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

### 2.2.5. Koagulasi – 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  $\text{Al}^{3+}$ ) dengan ion negatif dari partikel (misal  $\text{OH}^-$ ) dan antara ion positif dari partikel (misal  $\text{Ca}^{2+}$ ) dengan ion negatif dari koagulan (misal  $\text{SO}_4^{2-}$ ) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Setelah inti flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.



**Gambar 2. 4** Gambaran Proses Koagulasi – Flokulasi

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk

lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



**Gambar 2. 5** Peralatan Jar Test

- Jenis Pengadukan

Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Sedangkan berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

### **1. Pengadukan Cepat**

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000  $\text{detik}^{-1}$ ) selama 5 hingga 60 detik atau nilai *Gtd* (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan *td* bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.

Untuk proses koagulasi-flokulasi:

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 0,5 - 6 menit
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan pneumatis

## **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. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100  $\text{detik}^{-1}$ ) selama 10 hingga 60 menit atau nilai *Gtd* (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut:

Untuk air sungai:

- Waktu detensi = minimum 20 menit
- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$  Untuk air waduk:
- Waktu = 30 menit
- $G = 10 - 75 \text{ detik}^{-1}$  Untuk air keruh:
- Waktu dan  $G$  lebih rendah
- $G$  tidak lebih dari  $50 \text{ detik}^{-1}$  Untuk flokulator 3 kompartemen:
- $G$  kompartemen 1 : nilai terbesar
- $G$  kompartemen 2 : 40 % dari  $G$  kompartemen 1
- $G$  kompartemen 3 : nilai terkecil

Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

- Waktu detensi = minimum 30 menit
- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 15 - 30 menit
- $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
- $GTd = 10.000 - 100.000$

Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

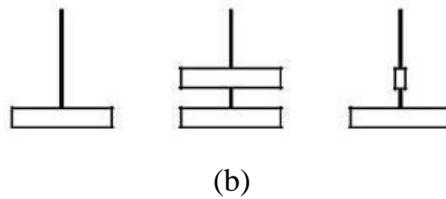
1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis

### 3. Pengadukan Mekanis

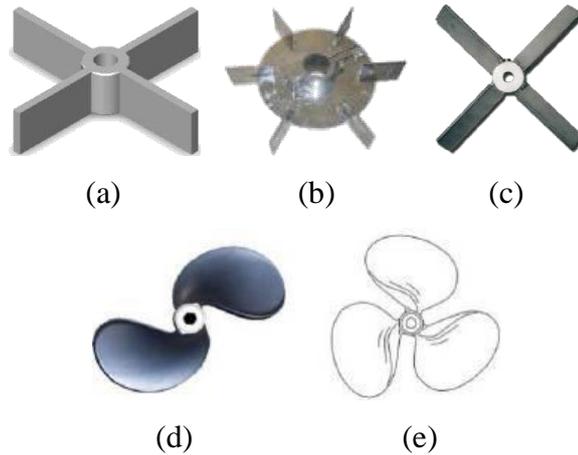
Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balung-balung). Bentuk ketiga *impeller* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



(a)

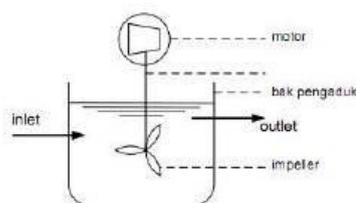


**Gambar 2. 6** Tipe paddle (a) tampak atas, (b) tampak samping (Qasim, 1985)



**Gambar 2. 7** Tipe turbine dan propeller : (a) turbine blade lurus. (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbine dengan blade menyerong, (d) propeller 2 blades, (e) propeller 3 blade (Qasim,1985)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu  $G$  dan  $td$ . Sedangkan 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 adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



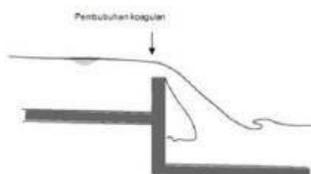
**Gambar 2.7** Pengadukan Cepat Dengan Alat Pengaduk

#### 4. Pengadukan hidrolis

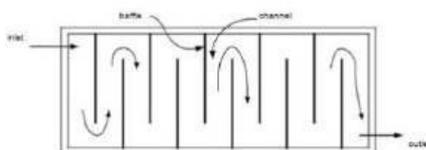
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolis yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi hidrolis dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolis dalam suatu aliran (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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 hidrolis, dan *parshall flume* (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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 (*baffled channel*, Gambar 2.11), *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



**Gambar 2. 8** Pengadukan Cepat Dengan Terjunan



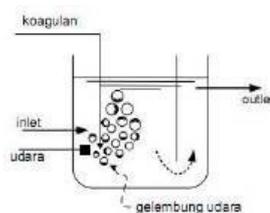
**Gambar 2. 9** Denah Pengadukan Lambat Dengan Baffled Channel

#### 5. 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 air. 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 (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



**Gambar 2. 10** Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

- **Koagulan**

Pada perencanaan ini menggunakan koagulan *Ferrous Sulfate* ( $\text{FeSO}_4$ ) karena koagulan *Ferrous Sulfate* ( $\text{FeSO}_4$ ) dapat bekerja di pH basa dan dapat sekaligus meremoval Cr (mengubah valensi  $\text{Cr}^{6+}$  menjadi  $\text{Cr}^{3+}$ ).

Secara komersial ferro sulfat diproduksi dalam bentuk kristal berwarna hijau atau butiran (*granular*) untuk pembubuhan kering dengan kandungan ( $\text{FeSO}_4$ ) kira-kira 55%. Ferro sulfat bereaksi dengan alkalinitas alami tetapi dibanding reaksi antara alum dengan  $\text{HCO}_3^-$  lebih lambat. Biasanya digunakan bersama-sama dengan kapur untuk menaikkan pH, sehingga ion ferro terendapkan dalam bentuk ferri hidroksida,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Ferrous sulfat ini kurang sesuai untuk menghilangkan warna, akan tetapi akan sangat baik untuk pengolahan air yang mempunyai alkalinitas dan kekeruhan dan DO yang tinggi. Kondisi pH yang sesuai yakni antara 9,0-11,0. Reaksinya adalah sebagai berikut:

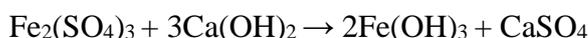
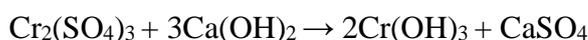


Proses ini biasanya lebih murah dibandingkan dengan alum, tetapi penggunaan dua macam bahan prosesnya lebih sulit dan pengolahan air dengan menggunakan ferro sulfat dan kapur akan dapat memperbesar kesadahan air (Nusa Idaman Said, 2017).

Pereduksian Cr dari  $\text{Cr}^{6+}$  menjadi  $\text{Cr}^{3+}$  menggunakan ferro sulfat menghasilkan reaksi sebagai berikut:



Setelah pereaksian tersebut, ditambahkan kapur untuk mengendapkan  $\text{Cr}^{3+}$  dalam bentuk  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Reaksi pada pengendapan dengan kapur adalah sebagai berikut:



(Nusa Idaman Said, 2017)

- Koagulan Pembantu

Pada saat kekeruhan air baku tinggi, misalnya setelah hujan, pada saat musim dingin, ataupun pada saat permintaan produksi meningkat, pemakaian zat koagulan sajas sering kali tidak cukup untuk menghasilkan flok yang baik. Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah koagulan pembantu agar pembentukan flok berjalan dengan baik.

Pemilihan jenis zat koagulan pembantu harus dapat menghasilkan flok yang baik/stabil dan tidak berbahaya ditinjau dari segi kesehatan. Disamping itu juga harus ekonomis serta pengerjaannya mudah. Sebagai bahan koagulan pembantu yang sering dipakai yaitu silika aktif dan natrium alginat (*sodium alginic acid*).

Dosis koagulan pembantu harus ditentukan dengan pertimbangan bahwa pada keadaan biasa/normal dosis silika aktif adalah 1-5 ppm sebagai  $\text{SiO}_2$  dan untuk natrium alginat adalah 0,2-2 ppm. (Nusa Idaman Said, 2017)

**Kriteria Perencanaan :**

- Waktu tinggal di dalam bak (Td) = 20 – 60 s
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 / s

(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182*)

- Diameter paddle (Di) = 50 – 80% diameter bak

- Lebar paddle ( $W_i$ ) =  $1/6 - 1/10$  diameter paddle
- Kecepatan putaran paddle ( $n$ ) = 20 -150 rpm  
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 185*)
- Kedalaman bak ( $H$ ) =  $1 - 1,25$  diameter
- Jarak paddle dari dasar = 30-50%  $D_i$   
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184*)
- Reynold number (NRE) =  $>10.000$   
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 187*)

### **Rumus yang digunakan :**

1. Kebutuhan koagulan Ferro Sulfat ( $FeSO_4$ )

$$FeSO_4 = \text{Dosis } FeSO_4 \times Q \times \text{kadar } FeSO_4$$

Keterangan :

$Q$  = debit limbah (l/hari)

Dosis  $FeSO_4$  = dosis optimum (mg/l)

Kadar  $FeSO_4$  = kadar dipasaran (%)

2. Volume koagulan  $FeSO_4$

$$V_{FeSO_4} = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{\rho_{FeSO_4}} \times \text{periode pelarutan}$$

Keterangan :

$\rho_{FeSO_4}$  = massa jenis  $FeSO_4$  ( $kg/m^3$ )

3. Volume air ( $H_2O$ )

$$V_{H_2O} = \frac{100\% - 15\%}{15\%} \times \text{Volume } FeSO_4$$

4. Volume bak pelarut/pembubuh koagulan

$$V = V_{FeSO_4} + V_{H_2O}$$

5. Dimensi bak pelarut/pembubuh

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

Keterangan :

V = volume bak pembubuh (m<sup>3</sup>)

D = diameter bak pembubuh (m)

H = kedalaman bak (m)

6. Power yang dibutuhkan

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan :

V = volume bak pembubuh (m<sup>3</sup>)

P = daya yang dibutuhkan (watt)

$\mu$  = viskositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)

G = gradient kecepatan (detik<sup>-1</sup>)

7. Diameter impeller

$$Di = \left( \frac{\rho}{KT \cdot n^3 \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Keterangan :

Di = Diamater Impeller (m)

$\mu$  = viskositas absolute (N.s/m<sup>2</sup>)

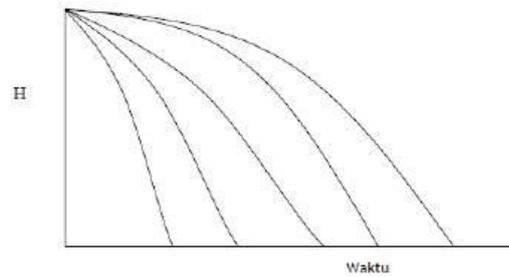
n = kecepatan putaran paddle (rps)

$\rho$  air = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.2.6. Bak Pengendap I

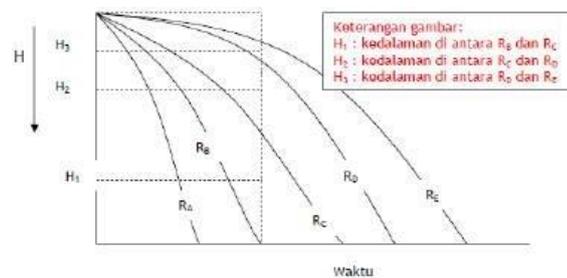
Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan *coloumn settling test* dan *withdrawalports* pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval.



**Gambar 2. 11** Grafik Isoremoval

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besar penyisihan total pada waktu tertentu. Tarik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tentukan kedalaman  $H_1$ ,  $H_2$  dst (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



**Gambar 2. 12** Grafik Penentuan kedalaman  $H_1$ ,  $H_2$

Rumus yang dapat digunakan adalah :

$$R_T = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D)$$

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan *surface loading* atau *overflow rate* bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Kedua grafik ini dapat digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi ( $t_d$ ) dan *overflow rate* ( $V_0$ ) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen (*batch*). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinyu). Setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor *scale up*. Untuk waktu detensi, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya 1,75, untuk *overflow rate*, faktor *scale up* yang digunakan biasanya 0,65) (Tom D. Reynolds, Paul A. Richards, 1996).

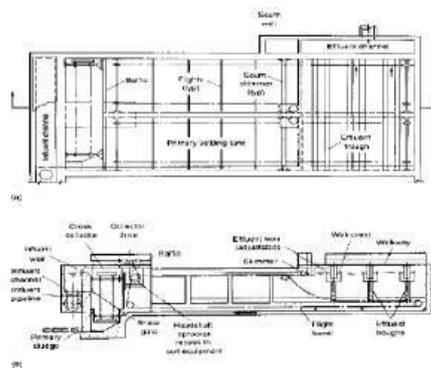
Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari

suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

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

Desain dari bak pengendap I ada beberapa jenis, yaitu:

- a. Bak Persegi (*Rectangular Tanks*)



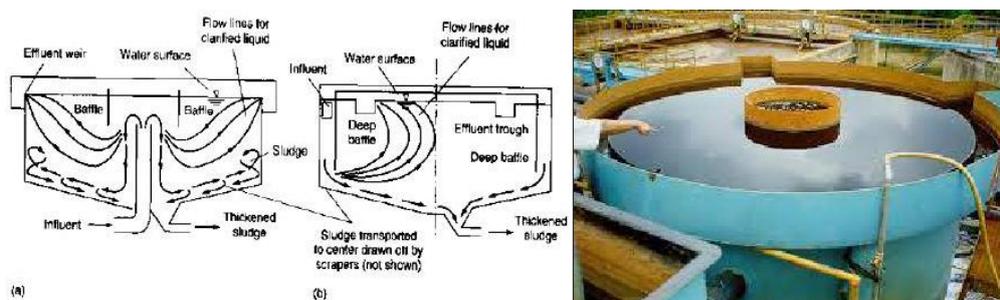
**Gambar 2. 13** Bak Pengendap I (a) Denah (b) Potongan (Metcalf & Eddy, 2003)

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk:

1. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
2. Saluran inlet dengan port dan orifice,
3. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*.

(Metcalf & Eddy, 2003)

- b. Bak Lingkaran



**Gambar 2. 14** Jenis Bak Pengendap I Berbentuk Lingkaran

## (a) Denah (b) Potongan (Metcalf &amp; Eddy, 2003)

Pada tangki sirkular 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).

Pada umumnya aliran air pada tangki sedimentasi mempunyai sistem *up-flow* yaitu air mengalir dari bawah ke atas secara vertikal menuju ke tempat pengeluaran yang ada di atas. Partikel mengendap ke bawah ke arah yang berlawanan arah dengan aliran air. Dalam prosesnya, partikel diwajibkan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dari pada laju pelimpahan agar partikel mengendap dan dapat dipisahkan.

**Tabel 2. 5** Desain Tangki Sedimentasi I

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
<b><i>Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment</i></b>						
Waktu Tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata-Rata	gal/ft <sup>2</sup> s	800-1.200	1.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	30-50	40
Puncak	gal/ft <sup>2</sup> s	2.000-3.000	2.500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	80-120	100
Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
<i>Weir Loading</i>	gal/ft <sup>2</sup> s	10.000-40.000	20.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	125-500	250
<b><i>Primary Settling with Waste Activated Sludge Return</i></b>						
Waktu Tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						

Rata-Rata	gal/ft <sup>2</sup> s	600-800	1.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	24-32	28
Puncak	gal/ft <sup>2</sup> s	1.200-1.700	1.500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	48-70	60
<i>Weir Loading</i>	gal/ft <sup>2</sup> s	10.000-40.000	20.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s	125-500	250

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

Tabel 2.6 Data Perencanaan untuk Bangunan Sedimentasi I Berbentuk Persegi Panjang dan Lingkaran

Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<b>Persegi Panjang</b>						
Kedalaman	feet	10-16	14	m	3-4,9	4,3
Panjang	feet	50-300	80-130	m	15-90	24-40
Lebar	feet	10-80	16-32	m	3-24	4,9-9,8
<i>Flight Speed</i>	ft/min	2-4	3	m/min	0,6-1,2	0,9
<b>Lingkaran</b>						
Kedalaman	feet	0-16	14	m	3-4,9	4,3
Diameter	feet	10-200	40-150	m	3-60	12-45
Kemiringan Dasar	In/ft	0,75-2	1	mm/mm	1/16-1/6	1/12
<i>Flight Speed</i>	r/min	0,02-0,05	0,03	r/min	0,02-0,05	0,03

Sumber : Metcalf & Eddy, 2003

Kriteria Perencanaan :

**Zona Pengendapan (*Settling Zone*)**

- Kedalaman (H) = 3 – 4,9 m
- Panjang bak (L) = 15 – 90 m
- Lebar bak (B) = 3 – 24 m
- Kecepatan putaran = 0,6 – 1,2 m/menit
- Faktor porositas = 0,02 – 0,12 ; 0,05 – 0,12
- Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam
- *Overflow rate* = 30 – 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari (*average*) 80 – 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari (*peak*)
- *Weir loading rate* = 125 – 500 m<sup>3</sup>/m.hari

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

- Bilangan Reynold (Nre) untuk  $V_h = <2000$  (laminer)
- Bilangan Reynold (Nre) untuk  $V_s = <1$  (laminer)
- Bilangan Froude (Nfr)  $= >10^{-5}$
- Kemiringan *plate settler*  $= 45^\circ - 60^\circ$

(Sumber : Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Edition*. hal 375)

- Syarat terjadi pengendapan = waktu pengendapan (tp) < waktu detensi (td)
- Syarat terjadi penggerusan = kec. Scouring (vsc) > kec. Horizontal (vh)
- Percepatan gravitasi (g)  $= 9,81 \text{ m/s}^2$
- *Specific gravity* (sg) = 1,03
- Kontrol pengerusan (scouring)  $\square = 0,02-0,12$ ;  $\lambda = 0,03$

#### Zona Lumpur

- Persen removal TSS  $= 85\%$
- Kadar TSS dalam air limbah  $= 800 \text{ mg/l}$
- Berat jenis air ( $\rho_w$ )  $= 995,7 \text{ kg/m}^3$
- Berat jenis suspended solid ( $\rho_{ss}$ )  $= 2650 \text{ kg/m}^3$
- Kadar air dalam lumpur  $= 95\%$
- Kadar padatan dalam lumpur  $= 5\%$
- Periode pengurasan  $= 1 \text{ hari}$
- Ruang lumpur berbentuk limas terpancung

#### Rumus yang digunakan :

1. Dimensi bak sedimentasi

$$V = Q \times t_d$$

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

Keterangan :

V = volume bak ( $\text{m}^3$ )

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

Td = waktu detensi (s)

L = panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

2. Cek waktu detensi

$$Td = \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Debit (Q)}}$$

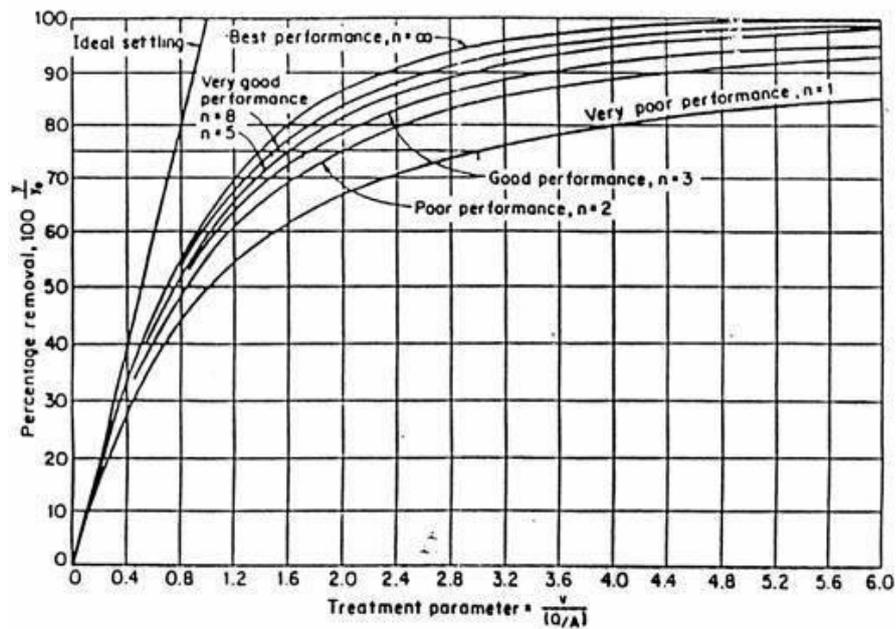
Keterangan :

V = volume bak (m<sup>3</sup>)

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

3. Kecepatan pengendapan (vs)

Menggunakan grafik *good performance*, berdasarkan persen removal



Diperoleh nilai untuk  $V(C/A)$

4. Kecepatan horizontal (vh)

$$Vh = \frac{L}{td}$$

Keterangan :

L = panjang bak (m)

Td = waktu detensi (s)

5. Cek bilangan Reynolds

$$Nre = \frac{vh \times R}{u}$$

Keterangan :

$v_h$  = kecepatan horizontal (m/s)

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

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

6. Diameter partikel

$$Dp = \sqrt{\frac{Vs \cdot 18 \cdot u}{g (sg - 1)}}$$

Keterangan :

$v_s$  = kecepatan pengendapan (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

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

$sg$  = *specific gravity*

7. Massa jenis partikel

$$\rho_s = sg \times \rho$$

Keterangan :

$Sg$  = *specific gravity*

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

8. Nre pengendapan partikel

$$Nre = \frac{\rho_s \times d \times v_s}{\mu}$$

Keterangan :

$v_s$  = kecepatan pengendapan (m/s)

$\rho_s$  = massa jenis partikel ( $kg/m^3$ )

$d_p$  = diameter partikel (m)

$\mu$  = viskositas absolut (N.detik/ $m^2$ )

9. Bilangan Froude

$$Nfr = \frac{Vh}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan :

$v_h$  = kecepatan horizontal (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = kedalaman bak (m)

10. Kecepatan penggerusan atau *scouring*

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times dp \times (sg - 1)}{\lambda}}$$

Keterangan :

$\lambda, \beta$  = kontrol penggerusan

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$dp$  = diameter partikel (m)

$Sg$  = *specific gravity*

11. Luas tiap lubang perforated baffle

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Keterangan :

$D$  = diameter lubang perforated (m)

12. TSS yang teremoval

$$\text{TSS teremoval} = \% \text{removal} \times \text{kadar TSS awal}$$

13. Lumpur yang dihasilkan

$$\text{Lumpur dihasilkan} = Q \text{ limbah} \times \text{TSS teremoval}$$

14. Berat air yang dihasilkan

$$\text{Berat air} = \left( \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar padatan dalam lumpur}} \right) \times \text{lumpur yang dihasilkan}$$

15. Berat jenis lumpur

$$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%)$$

16. Debit lumpur

$$Q \text{ sludge} = \frac{\text{lumpur yang dihasilkan} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur}}$$

## 17. Volume lumpur

$$V \text{ sludge} = Q \text{ sludge} \times \text{periode pengurasan}$$

## 18. Volume zona lumpur

$$V = \frac{1}{3} \times H \times (A + A' + \sqrt{A \times A'})$$

Keterangan :

H = ketinggian zona lumpur (m)

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

A' = luas permukaan dasar zona lumpur (m<sup>2</sup>)

## 19. Debit pipa penguras lumpur

$$Q_p = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

## 20. Diameter pipa penguras lumpur

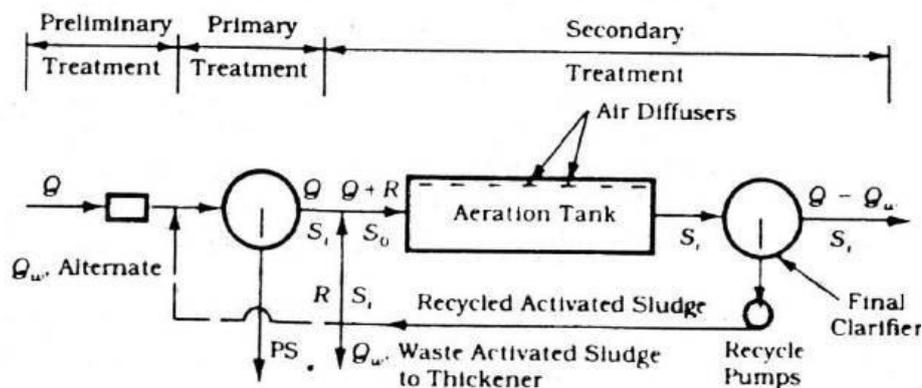
$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

### 2.2.7. Activated Sludge

Pengolahan 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 ini menurunkan kandungan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotof. Sumber energy berasal dari oksidasi senyawa organik. BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut substrat. Adapun tipe-tipe *activated sludge* sebagai berikut :

1) Konvensional

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

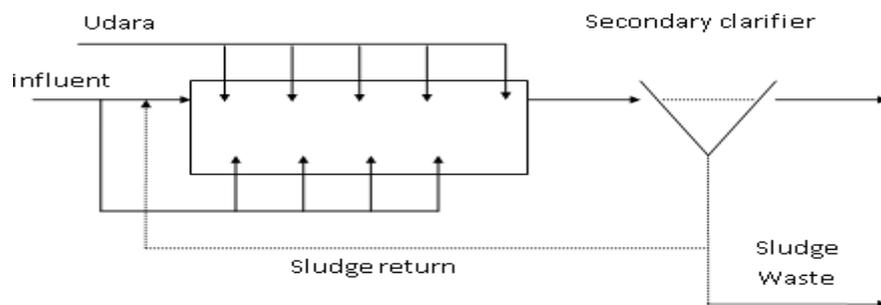


**Gambar 2. 15** Activated Sludge sistem konvensional

2) Non konvensional

• *Step aeration*

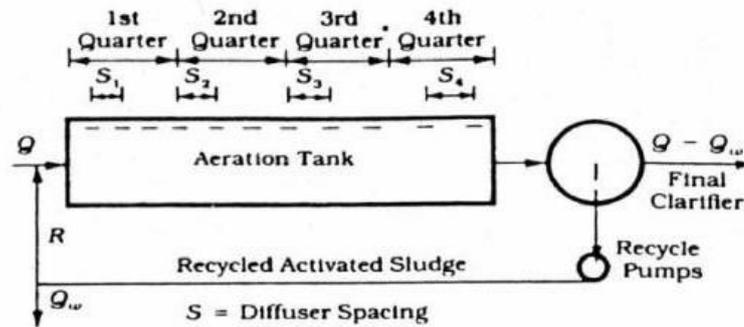
- Merupakan tipe *plug flow* dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet.
- Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditanki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal.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



**Gambar 2. 16** Step aeration

• *Tapered aeration*

- Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.



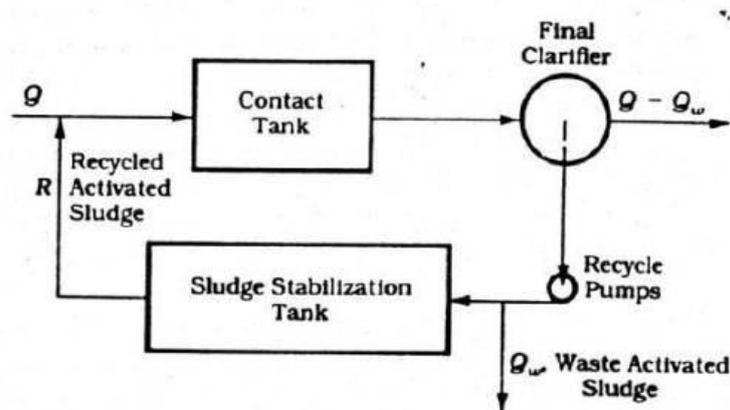
**Gambar 2. 17** Tapered aeration

- Contact Stabilization

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

-*Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.

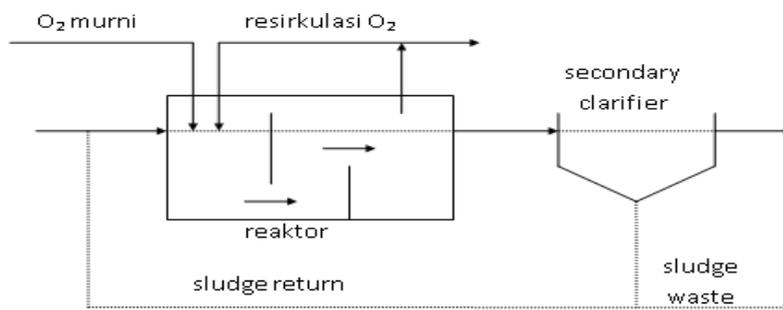
-*Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorb ( proses stabilisasi ).



**Gambar 2. 18** Contact Stabilization

- Pure Oxygen

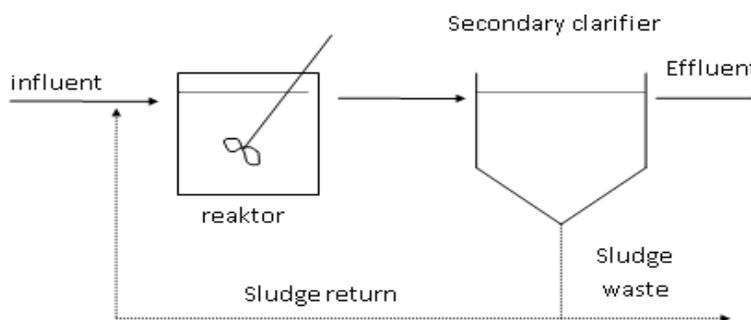
Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan *td* pendek.



**Gambar 2. 19** Pure Oxygen

- High Rate Aeration

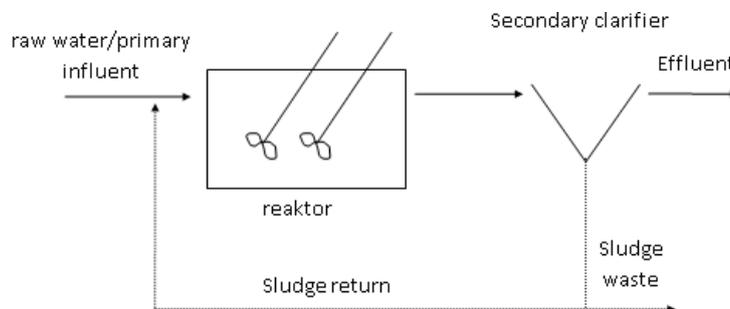
Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1-5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.



**Gambar 2. 20** High Rate Aeration

- Extended Aeration

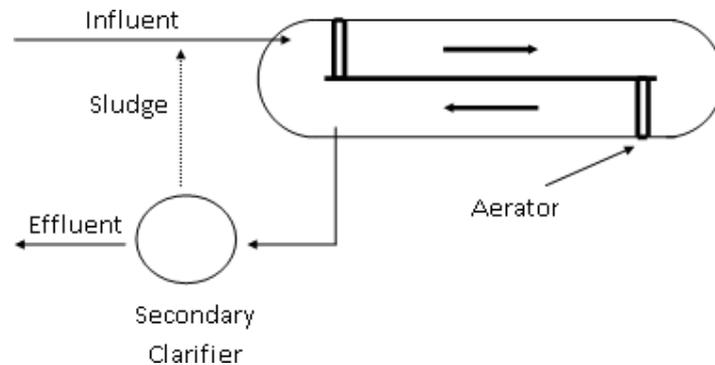
Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.



**Gambar 2. 21** Extended Aeration

- Extended Aeration

Bentuk *oxidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s.



**Gambar 2. 22** Oxidation Ditch

Adapun parameter penting untuk desain *activated sludge* adalah:

- 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.
- Rasio resirkular (R)  
Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *activated sludge* yang digunakan.
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi ( $C_0$ )
- Waktu detensi ( $t_d$ )  
 $T_d$  adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi.

**Kriteria Perencanaan :**

- Umur lumpur ( $\theta_c$ ) = 4 – 10 hari
- Rasio F/M = 0,3 – 0,8 kg BOD<sub>5</sub>/kg VSS.d
- Waktu detensi = 6 – 8 jam
- Rasio VSS/SS = 0,70 - 0,85
- MLVSS ( $X_v$ ) = 1500 - 3500 mg/L

- MLSS (X) = 2000 - 4000 mg/L
  - Kedalaman bak aerasi (H) = 4,5 – 7,5 m
  - Freeboard = 10 – 20%
  - Suhu activity coefficient activated sludge ( $\theta$ ) = 1,02 – 1,25
  - Safety factor = 2
- (Sumber : Metcalf& Eddy, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, hal 704 –942)**
- Particulate BOD = 0,45 - 0,65 mg.BOD5/mg TSS
- (Sumber: Sperling MV. 2007. *Biological Wastewater Treatment: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, hal 29. London: IWA Pub.)**
- SS in return sludge = 8000 – 12000 mg/l
- (Sumber: Sperling MV. 2007. *Biological Wastewater Treatment: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, hal 36. London: IWA Pub.)**
- Rasio Resirkulasi (R) = 0,6 - 1
  - Konsentrasi DO di dalam bioreaktor = 1,5 - 2 mg/L
  - Biodegradable Fraction of VSS (fb) = 0,55 - 0,77
  - Effluent Soluble BOD<sub>5</sub> (S) = 5 - 20 mg/L
- (Sumber: Sperling MV. 2007. *Biological Wastewater Treatment: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, hal 69. London: IWA Pub.)**
- *Endogenous Respiration Coefficient* (Kd) = 0,06-0,1 g VSS/g VSS.d
  - *Yield Coefficient* (Y) = 0,5 – 0,7 g VSS/g BOD5 removed
- (Sumber: Sperling MV. 2007. *Biological Wastewater Treatment: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, hal 20. London: IWA Pub.)**
- Specific Gravity Solids = 1,3 - 1,5
- (Sumber: Qasim, Syed R. 1985. *Wastewater Treatment Plant: Planning, Design, and Operation*, hal 428. New York: CBS College Publishing)**
- Konsentrasi padatan pada lumpur berlebih (C) = 2 – 5 %
  - Nilai Koefisien :
    - Rata-rata penggunaan Substrat (k) = 2 – 10 /hari
    - Konsentrasi Substrat (ks) = 25 – 150 mg/liter.BOD
    - Koefisien Endogeneous (kd) = 0,025 – 0,075 hari

(Reynold, hal 456)

Rumus yang Digunakan :

1. Perhitungan  $X_r$

$$SVI = \frac{\text{Volume (ml)} \times 1000 \text{ (} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{)}}{\text{Suspended Solid (} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{)}}$$

$$X_r = \frac{10^6}{SVI}$$

Keterangan :

SVI = didapat pada uji laboratorium (perhitungan Metcalf&Eddy, 685)

$X_r$  = konsentrasi biomassa yang di kembalikan ke *clarifier* (mg/l)

2. BOD teremoval

$$\text{BOD yang teremoval} = C_o \times \% \text{removal}$$

Keterangan :

$C_o$  - jumlah VOD influent ( $\text{kg/m}^3$ )

3. BOD yang lolos

$$C_r = C_o - \text{BOD teremoval}$$

Keterangan :

$C_o$  = jumlah BOD influent ( $\text{kg/m}^3$ )

BOD teremoval = hasil perhitungan BOD teremoval ( $\text{kg/m}^3$ )

4. Kadar MLVSS

$$\text{MLVSS} = 0,7 \times \text{MLSS}$$

Keterangan :

MLVSS = *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* ( $\text{kg/m}^3$ )

MLSS = *Mixed Liquor Suspended Solid* ( $\text{kg/m}^3$ )

5. Debit Resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R$$

Keterangan :

$Q_o$  = debit awal / debit influent ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

R = rasio resirkulasi

6. Debit yang masuk ke AS / debit total

$$Q_a - Q_o + Q_r$$

Keterangan :

$Q_o$  = debit awal / debit influent ( $m^3/hari$ )

$Q_r$  = debit resirkulasi ( $m^3/hari$ )

7. Konsentrasi BOD dalam bak AS

$$C_a = \frac{(C_o \times Q_o + (Q_r \times C_r))}{(Q_o + Q_r)}$$

Keterangan :

$C_o$  = jumlah BOD *influent* ( $kg/m^3$ )

$Q_o$  = debit awal / debit influent ( $m^3/hari$ )

$Q_r$  = debit resirkulasi ( $m^3/hari$ )

$C_r$  = BOD yang lolos ( $kg/m^3$ )

8. Volume bak AS

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q_a \cdot (C_a - C_r)}{X \cdot (1 + (K_d \cdot \theta_c))}$$

Keterangan :

$C_r$  = BOD yang lolos ( $kg/m^3$ )

$C_a$  = konsentrasi BOD dalam bak AS ( $kg/m^3$ )

$Y$  = *biomass yield* pada suhu  $30^\circ C$

$\theta_c$  = umur lumpur (hari)

$K_d$  = *Endogeneous Decay Coefficient* pada suhu  $30^\circ C$

$Q_a$  = debit yang masuk ke AS / debit total ( $m^3/hari$ )

$X$  = MLSS ( $kg/m^3$ )

9. Dimensi bak AS

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

Keterangan :

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

$L$  = panjang bak (m)

$B$  = lebar bak (m)

$H$  = kedalaman bak (m)

10. Jari-jari hidrolis bak AS

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

Keterangan :

B = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

11. Kuantitas lumpur yang dihasilkan tiap hari ( $\gamma_{obs}$ )

$$\gamma_{obs} = \frac{F}{1 + Kd \times \theta_c}$$

Keterangan :

Y = *biomass yield* pada suhu 30°C

$\theta_c$  = umur lumpur (hari)

Kd = *Endogeneous Decay Coefficient* pada suhu 30°C

12. Produksi Lumpur

$$Px \text{ (MLVSS0)} = \gamma_{obs} \times Qa \times (Ca - Cr)$$

Keterangan :

$\gamma_{obs}$  = kuantitas lumpur yang dihasilkan tiap hari

Cr = BOD yang lolos (kg/m<sup>3</sup>)

Ca = konsentrasi BOD dalam bak AS (kg/m<sup>3</sup>)

Qa = debit yang masuk ke AS / debit total (m<sup>3</sup>/hari)

13. Debit lumpur

$$Qs = \frac{Px}{K}$$

Keterangan :

Px = produksi lumpur (kg/hari)

X = MLSS (kg/m<sup>3</sup>)

14. Kontrol F/M rasio

$$\frac{F}{M} = \frac{Qa \times Ca}{V \times K}$$

Keterangan :

Ca = konsentrasi BOD dalam bak AS (kg/m<sup>3</sup>)

Qa = debit yang masuk ke AS / debit total (m<sup>3</sup>/hari)

X = MLSS (kg/m<sup>3</sup>)

V = volume bak (m<sup>3</sup>)

15. Kebutuhan oksigen

$$Keb. Oksigen = \frac{1,46 \times Qa (Co - Cr)}{10^3}$$

Keterangan :

Qa= debit yang masuk ke AS / debit total (m<sup>3</sup>/hari)

Cr = BOD yang lolos (kg/m<sup>3</sup>)

Co= jumlah BOD *influent* (kg/m<sup>3</sup>)

16. Volume udara yang dibutuhkan

$$Keb. udara teoritis = \frac{Keb. Oksigen total}{\rho udara \times \%O_2}$$

$$Keb. udara actual = \frac{Keb. O_2 teoritis}{efisiensi transfer O_2}$$

Keb. udara design = Keb. udara actual x safety factor

17. Transfer O<sub>2</sub> di lapangan

$$N = No \times \frac{\beta \times Cw - Cl}{9,17} + 1,024^{T-20} \times \alpha$$

Keterangan :

N = Kg O<sub>2</sub>/Kw.jam transfer di bawah kondisi lapangan

No= Kg O<sub>2</sub>/Kw.jam transfer di bawah kondisi standart

( Nilai No = 1,5)

β = Faktor koreksi *salinity surface* = 1

Cw = Konsentrasi O<sub>2</sub> jenuh = 8,16 mg/liter

Cl = Konsentrasi O<sub>2</sub> operasi = 2 mg/liter

T = Temperatur (°C)

α = Faktor koreksi O<sub>2</sub> transfer = 0,8 – 0,85

18. Tenaga aerator

$$\frac{Keb O_2 total}{transfer O_2 di lapangan}$$

19. Jumlah aerator

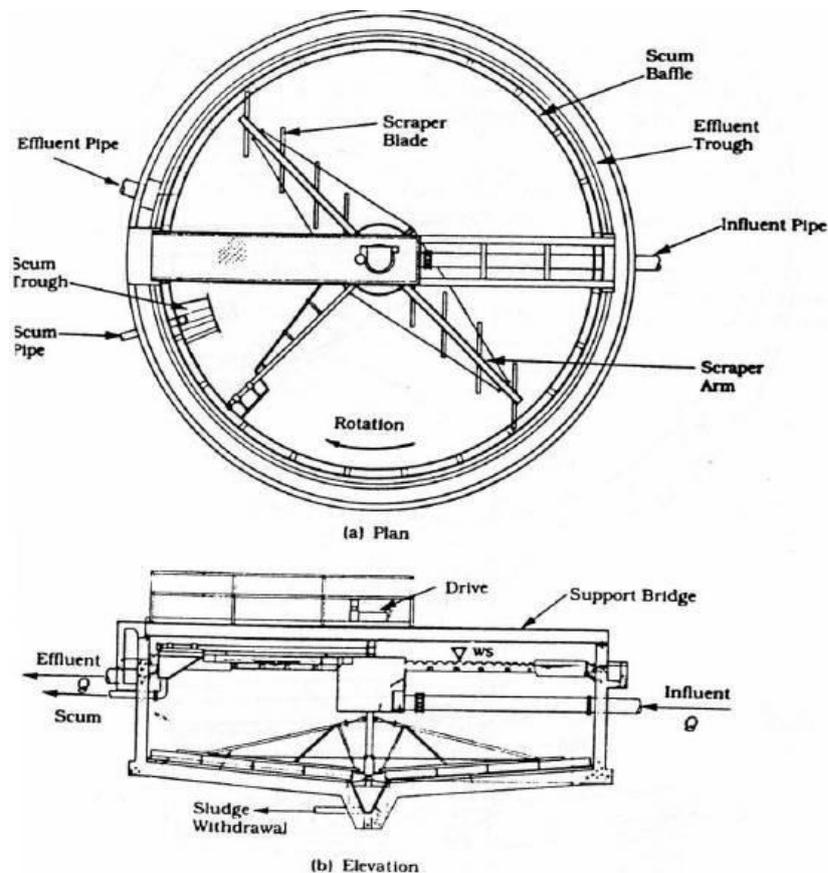
$$n = \frac{Keb O_2 total}{kapasitas aerator}$$

### 2.2.8. 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 masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

Bangunan *clarifier* 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 dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat ditengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

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 ).



Gambar 2. 23 Denah dan Potongan Clarifier

**Kriteria Perencanaan :**

- Diameter tangki (d) = 3 – 60 m
- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam
- *Over flow rate (average flow)* = 24 – 32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari
- *Weir loading rate (WLR)* = 125 – 500 m<sup>3</sup>/hari

(Sumber : Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition*, hal 398)

- Diameter *inlet wall* = 15 - 20% diameter tangki

(Sumber : Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition*, hal 401)

- Kedalaman tangki (H) = 3,5 – 6 m

(Sumber : Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition*, hal 687)

- Bilangan Reynold untuk Vs < 1 (laminer)

- Bilangan Reynold untuk  $V_h < 2000$  (laminer)
- Bilangan Froude (Nfr)  $> 10^{-5}$
- Specific gravity solids = 1,3

### Rumus yang Digunakan

#### Zona settling

1. Volume bak

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

Q = debit masuk clarifier ( $m^3/s$ )

Td = waktu detensi (s)

2. Luas permukaan bak

$$A = \frac{Q}{\text{overflow rate}}$$

Keterangan :

Q = debit masuk clarifier ( $m^3/s$ )

3. Diameter bak

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

4. Diameter inlet wall

$$D_{iw} = 20\% \times \text{diameter bak}$$

Keterangan :

A = luas permukaan bak ( $m^2$ )

5. Cek waktu detensi

$$T_d = \frac{V}{Q}$$

Keterangan :

Q = debit masuk clarifier ( $m^3/s$ )

V = volume bak ( $m^3$ )

6. Kecepatan pengendapan

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

Keterangan :

Td = waktu detensi (s)

H = kedalaman bak (m)

### Zona Thickening

1. VLVSS dalam clarifier

$$\begin{aligned} \text{MLVSS}_{AS} &= P \times \text{MLVSS total} \\ \text{MLVSS clarifier} &= \text{MLVSS total} - \text{MLVSS}_{AS} \end{aligned}$$

Keterangan :

P = persentase biological tetap dalam bak AS

MLVSS = dari bak AS (kg/m<sup>3</sup>)

2. Massa solid pada clarifier

$$M \text{ solid} = \text{MLVSS clarifier} \times \text{Volume bak clarifier}$$

3. Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{M \text{ soli } K}{x A}$$

Keterangan :

X = MLSS pada AS (kg/m<sup>3</sup>)

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

### Zona Sludge

1. Total lumpur

$$T_s = P \times \text{mlss} \times \text{waktu pengurasan}$$

2. Total massa lumpur pada bak

$$T_{ms} = T_s + M \text{ solid}$$

Keterangan :

M solid = massa solid pada clarifier (kg)

## 3. Volume lumpur

$$V_s = \frac{T_s}{\rho_s}$$

Keterangan :

$T_s$  = total lumpur (kg)

$\rho_s$  = massa jenis lumpur ( $\text{kg/m}^3$ )

## 4. Tinggi ruang lumpur

$$V_s = \frac{1}{3} \times H \times (\sqrt{A \times A'})$$

Keterangan :

$V_s$  = volume lumpur ( $\text{m}^3$ )

$H$  = tinggi ruang lumpur (H)

$A$  = luas permukaan atas ( $\text{m}^2$ )

$A'$  = luas permukaan dasar ( $\text{m}^2$ )

**Zona Outlet**

## 1. Panjang keliling weir

$$L_{\text{weir}} = \pi \times D_{\text{bak}}$$

## 2. Jumlah v-notch

$$N = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{jarak antar v - notch}}$$

## 3. Tinggi air melalui v-notch

$$Q_{\text{v-notch}} = \frac{8}{15} \times cd \times \sqrt{2 \times g} \times tg \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

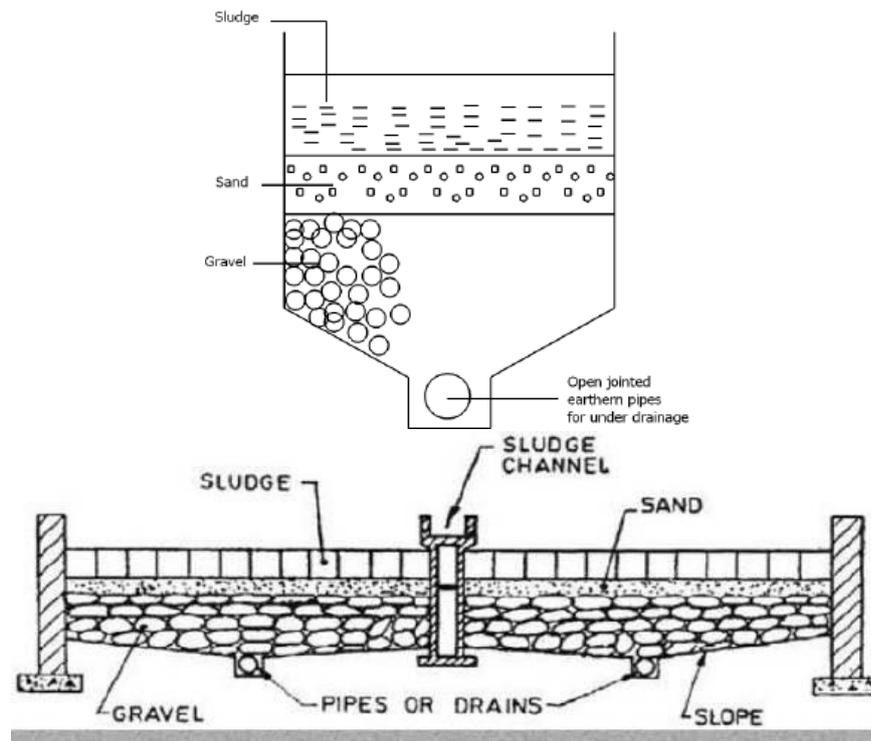
## 4. Panjang basah tiap pelimpah

$$L_i = \frac{2 \times H}{\tan \frac{90^\circ}{2}}$$

### 2.2.9. Sludge Drying Bed

*Sludge Drying Bed* pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / *sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan *open join*) (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / *sludge* ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy, 2003).



**Gambar 2. 24** Sludge Drying Bed

**Kriteria Perencanaan :**

- Ketebalan lapisan lumpur (cake) = 200 – 300 mm
- Ketebalan lapisan pasir halus = 150 mm
- Ketebalan lapisan pasir kasar = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil halus = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil sedang = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil kasar = 75 – 150 mm → 100 mm
- Waktu pengeringan lumpur = 10 – 15 hari
- Kadar air (P) = 60%
- Kadar solid pada lumpur = 40%

(Sumber : Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition*, hal 1570)

Rumus yang digunakan

1. Volume cake sludge

$$V_i = \frac{\text{Vol lumpur} (1 - P)}{1 - P_i}$$

Keterangan :

Vol.lumpur = volume lumpur total (m<sup>3</sup>)

P = kadar air (%)

P<sub>i</sub> = berat air dalam cake (%)

2. Volume sludge drying bed

$$V = V_i \times t_d$$

Keterangan :

V<sub>i</sub> = volume cake sludge (m<sup>3</sup>) per hari

T<sub>d</sub> = waktu pengurasan lumpur (hari)

3. Volume tiap bak

$$V_b = \frac{V}{\text{jumlah bak}}$$

4. Luas permukaan

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

5. Dimensi bak

$$A = B \times L$$

Keterangan :

B = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

6. Volume air

$$V_a = \frac{V \text{ lumpur} - V_i}{\text{jumlah bed}} \times t_d$$

7. Kedalaman underdrain

$$H = \frac{V_a}{B \times L}$$

8. Kedalaman total

$$H \text{ total} = \text{tebal cake} + \text{tebal media} + \text{feeboard} + H \text{ underdrain}$$