

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Limbah Tepung Tapioka**

Industri tepung tapioka menggunakan bahan baku singkong atau ubi yang mana di Indonesia didapatkan sehingga banyak industri yang bermunculan. Tepung tapioka juga dibutuhkan untuk berbagai industri seperti industri kertas, industri makanan, industri kayu lapis, industri makanan ternak, industri farmasi, industri tekstil, industri perekat dan lain sebagainya (Amilia, 2017). Namun limbah yang dihasilkan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah industri ini berasal dari pencucian, sisa ekstraksi pati dan pengendapan pati (Wijayanto et al., 2017).

Industri tepung tapioka menghasilkan limbah dengan kandungan organik tersuspensi dan senyawa anorganik berbahaya seperti karbohidrat, protein, lemak yang mudah diuraikan dan yang menimbulkan bau seperti sianida (Aulia, 2021). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka adalah sebagai berikut:

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

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). Biological Oxygen Demand (BOD) sebagai salah satu parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan. Analisa BOD pada perairan dapat meminimalisir jumlah toksik apabila nilainya telah diketahui dan dilakukan pengolahan secara biologis. (Daroini & Arisandi, 2020)

Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD adalah jumlah senyawa organik yang diuraikan, tersedianya mikroorganisme aerob, dan tersedianya jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses penguraian tersebut. Oksidasi biokimia adalah proses yang lambat. Dalam waktu 20 hari, oksidasi bahan organik karbon mencapai 95–

99% dan dalam waktu 5 hari sekitar 60–70% bahan organik telah terdekomposisi (Metcalf & Eddy, 1991).

Pada industri tepung tapioka BOD yang dihasilkan adalah 375 mg/L, dari batas baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka adalah 150 mg/L. Oleh karena itu perlu adanya pengolahan sebelum di buang agar tidak mencemari lingkungan.

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

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi. Nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses biologis dan berdampak negatif sehingga mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Nilai konsentrasi COD pada umumnya lebih besar dari BOD (Sugito, 2017). Menurut Lumaela dkk (2013), Apabila tingkat pencemaran air/ COD (chemical oxygen demand) perairan relatif tinggi, terdapat kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen akan tinggi karena COD menunjukkan kadar bahan organik yang bersifat non biodegradable. (Sumantri & Rahmani, 2020).

Berdasarkan parameter pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 memiliki baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka sebesar 300 mg/L. Sedangkan karakteristik air limbah yang dihasilkan adalah 750 mg/L.

### **2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)**

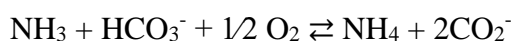
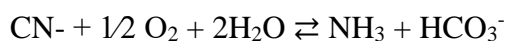
Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi merupakan partikel tersuspensi berdiameter  $>1 \mu\text{m}$ , yang tertahan di saringan mili pore dengan diameter pori-pori  $0,45 \mu\text{m}$  yang terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad renik yang mengambang di air. Penyebabnya karena pengikisan atau erosi tanah yang terbawa ke badan air yang berasal dari limpasan air hujan atau erosi tanah (Nurfatimah dkk., 2019; Wisna & Ondara, 2017). Total Suspended Solid menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat

langsung mengendap (Maulana et al. 2015). TSS sering digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kualitas air di suatu perairan, hal tersebut dilakukan karena nilai TSS yang tinggi menunjukkan tingginya tingkat pencemaran perairan.

Tingginya konsentrasi TSS dapat menghambat penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air sehingga menyebabkan rendahnya nilai produktivitas suatu perairan. Konsentrasi TSS yang tinggi berkaitan dengan adanya aktivitas manusia sehingga perairan tersebut teraduk dengan substrat berlumpur. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka kandungan TSS yang diperbolehkan adalah sebesar 100 mg/L. Sedangkan industri tepung tapioka memiliki kandungan melebihi baku mutu yaitu sebesar 250 mg/L.

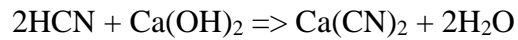
#### **2.1.4 Sianida (HCN)**

Kandungan Sianida dalam limbah industri tepung tapioka berasal dari bahan baku pembuatan tepung yaitu singkong. Sianida bersifat beracun atau toxic pada kondisi berikatan dalam rantai sianogenik glikosida yang mengandung glukosa, aseton, dan HCN (Damayanti et al., 2021). Sianida dalam limbah tepung tapioka ditemukan dalam kondisi bebas yaitu HCN. HCN merupakan senyawa kompleks dari senyawa sianida sederhana berikatan dengan logam sehingga stabil. Asam sianida (HCN) bersifat beracun dari hasil hidrolisis sianida dan tidak berwarna pada kondisi gas maupun cair. Mikroorganisme tertentu dapat mengoksidasi HCN dan dihasilkan gas amonia dan karbondioksida pada persamaan berikut ini (Noor Kumalasari, 2005).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika

tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016). Berikut ini adalah reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>).



Industri tepung tapioka pada perencanaan memiliki kandungan sebesar 0,75 mg/L. kandungan tersebut melebihi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka yang sebesar 0.3 mg/L.

### **2.1.5 pH (Derajat Keasaman)**

Derajat keasaman digunakan sebagai indikator pencemaran suatu perairan. Derajat keasaman ini digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan suatu zat, larutan, atau benda. Nilai pH normal adalah 7, sedangkan jika nilai pH >7 menunjukkan zat atau larutan tersebut memiliki sifat basa dan jika nilai pH <7 menunjukkan zat atau larutan tersebut memiliki sifat asam. Nilai pH 0 menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi dan pH 14 menunjukkan tingkat kebasaan yang tinggi.

Pada umumnya, ikan yang hidup di perairan air tawar pH nya berkisar 6,5-8,4. (Asdak, 1995). Menurut Faisal (2015), hasil penelitiannya menunjukkan pH berkisar 7,9-8,0 masih dalam kisaran normal pada suatu perairan. Pada rentang pH 6 – 9 terdapat kehidupan mikroorganisme, sedangkan pada pH ekstrim asam atau basa mikroorganisme tersebut tidak dapat hidup. Oleh karena itu pada pengolahan air limbah pH ekstrim sulit untuk dilakukan pengolahan biologis, sehingga dilakukan penetralan pH (Metcalf & Eddy, 2003).

Industri tepung tapioka memiliki pH sebesar 4 yang tergolong asam. Pada baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka besar pH yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah sebesar 6-9. Jadi diperlukan penetralan pH pada limbah industri tepung tapioka yang dihasilkan.

## **2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan**

### **2.2.1 Saluran Pembawa**

Saluran pembawa merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah menuju pengolahan selanjutnya. Di dalam perencanaan saluran pembawa,

perlu diperhatikan elevasi dari daerah perencanaan. Jika elevasi pada daerah perencanaan datar, maka perlu ditambahkan slope atau kemiringan pada saluran pembawa. Saluran pembawa harus mampu menampung debit maksimal yang dihasilkan oleh effluent limbah dan tidak timbul endapan saat debit minimum. Untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan maka dibuat bak kontrol setiap 10 m.

Saluran pembawa terdiri dari saluran terbuka dan tertutup (pipa). Pada saluran terbuka biasanya terbuat dari cor beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran seperti pada Gambar 2 . 1 . Karena terbuka sehingga terdapat kontak dengan udara langsung. Saluran terbuka memerlukan tempat yang luas dan biasanya digunakan untuk drainase air hujan atau limbah yang tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan (Wesli, 2008).



**Gambar 2 . 1** Saluran Terbuka

Sedangkan saluran tertutup (Gambar 2 . 2) digunakan untuk air limbah atau air kotor yang membahayakan kesehatan dan mengganggu keindahan. Air Limbah yang melalui saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh udara luar atau kontak langsung dengan udara. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).



**Gambar 2 . 2** Saluran Tertutup

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang saluran pembawa.

## 1. Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

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

- c. Koefisien Kekasaran Pipa = 0,002 – 0,012 (Pipa Plastik Halus). Sesuai dengan **Tabel 2.1** 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 :

- a. 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)

b. 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

c. Jari – Jari Hidrolis (R)

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

R = jari – jari hidrolis (m)

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = phi dengan besar 3,14

d. *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)

e. *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 / Bar screen

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):

a. *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*) seperti **Gambar 2.3**, drum putar (*rotary drum*) seperti **Gambar 2.4** dan anak tangga (*step type*) sesuai **Gambar 2.5** (Metcalf & Eddy, 2003).



**Gambar 2.3** Ayakan Kawat (*Static Wedge Wire*)





**Gambar 2 . 4** Drum Putar (*Rotary Drum*)



**Gambar 2 . 5** Anak Tangga (*Step Type*)

b. *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. Bentuk *Micro Screen* dapat dilihat pada **Gambar 2 . 6.**



**Gambar 2 . 6** *Micro Screen*

c. *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 . 7** *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 **Tabel 2.2** 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						
Lebar	In	0,2 - 0,6	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* (Cc) = 0.6

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) *WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 320*)

- *Headloss* (Hf) = 150 mm – 800 mm

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

## 2. Rumus yang digunakan

### a. Menghitung Bak Kontrol

#### 1) Menghitung Volume Bak

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

$$V = Q \times T$$

Keterangan :

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

T = waktu detensi (s)

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

#### 2) Menghitung Dimensi Bak

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

Keterangan :

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

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<sup>2</sup>/s)

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

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

4) Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol

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

$$freeboard = \%freeboard \times h\ air$$

Keterangan :

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

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

*freeboard* = ruang kosong untukantisipasi luapan

b. 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*

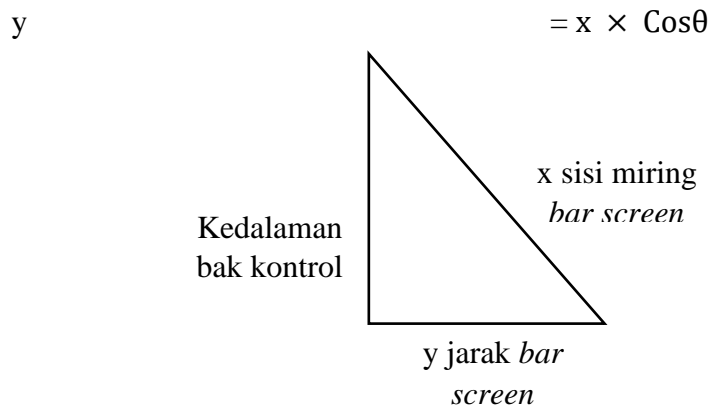
Panjang *Bar Screen* (sisi miring)

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

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

Lebar *Bar Screen* / Jarak *Bar Screen*

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



Keterangan :

$H_{\text{bak kontrol/total}}$  = 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

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

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)

c. Kecepatan

- 1) Kecepatan yang melalui *Bar Screen*

$$v_i = \frac{Q}{(Wc \times hair)}$$

- 2) Kecepatan aliran saat pembersihan

$$v_c = \frac{Q}{\%sumbatan \times Wc \times hair}$$

Keterangan :

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

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

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

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

- d. *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

$$H_f = \frac{1}{cc} \frac{vc^2 - v_1^2}{2g}$$

**(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 ( $m/s^2$ )

### 2.2.3 Bak Penampung

Bak penampung digunakan sebagai unit penyeimbang agar debit dan kualitas limbah yang akan menuju ke unit selanjutnya harus dalam keadaan konstan. Bak penampung sebagai penampungan sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah limbah lainnya.

Bak penampung dimanfaatkan apabila terdapat perbaikan unit atau pembersihan unit yang mengharuskan proses pengolahan limbah dihentikan. Gambar bak penampung berbentuk persegi panjang dapat dilihat pada Gambar 2 . 8.



**Gambar 2 . 8** Bak Penampung Air Limbah

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak penampung.

**1. Kriteria Perencanaan**

- a. *Freeboard* = 5% - 30%
- b. Waktu Detensi = >2 jam

**(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 344)**

- c. Kedalaman =  $\leq 4\text{m}$

**2. Rumus yang digunakan**

- a. Volume bak penampung

$$V = Q \times Td$$

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

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

Td = waktu detensi (s)

- b. Dimensi bak penampung

$$H \text{ total} = H + fb$$

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

$$L = 2 \times W$$

Keterangan :

H = kedalaman bak Kontrol (m)

$$Fb = 20\% \times H$$

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

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

c. Luas bak penampung

$$A = L \times W$$

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

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

#### 2.2.4 Bak Pengendap I

Unit pengolahan bak pengendap 1 digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut yang ada di dalam cairan menggunakan system gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Efisiensi removal dari unit ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Bak pengendap bentuk rectangular terdiri dari empat zona, yaitu :

- *Zona inlet*

*Zona inlet* berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

- *Zona pengendapan*

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu :

1. Karakteristik partikel tersuspensi.
2. *Overflow rate*.
3. Dan efisiensi Bak.

- *Zona lumpur*

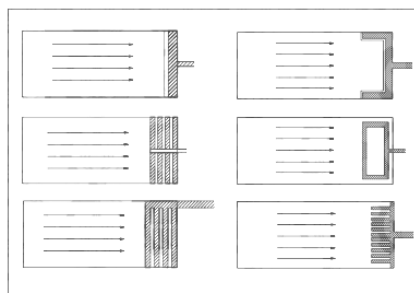
*Zona lumpur* merupakan zona untuk partikel-partikel deskret yang telah mengendap dan memiliki kemiringan tertentu menuju *hopper* yang terletak di bawah *inlet*. Kemiringan pada zona lumpur berfungsi untuk mempermudah saat pembersihan lumpur. Pada bak *regular*, kemiringan dasar bak sebesar 1



– 2 %. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

- **Zona Outlet**

Desain *Outlet* biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona *Outlet* tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona *Outlet* dapat dilihat pada **Gambar 2 . 10**.



**Gambar 2 . 9** Susunan pelimpah pada zona *Outlet* bak pengendap

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak pengendap 1 pada setiap bagiannya.

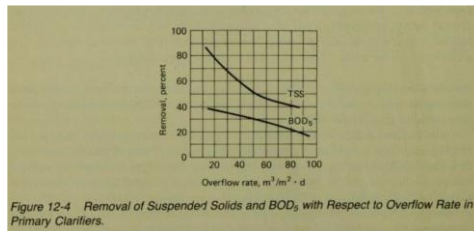
1. **Zona *Settling***

- a. **Kriteria Perencanaan**

- 1) *Over Flow Rate* (OFR)

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

- Peak = 70 – 130 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hr



(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

2) Waktu Tinggal (Td) = 0,6 – 3,6 jam

TABLE 12-2 Detention Times for Various Overflow Rates and Tank Depths

Overflow Rate (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d)	Detention Period (h)					
	2.0-m Depth	2.5-m Depth	3.0-m Depth	3.5-m Depth	4.0-m Depth	4.5-m Depth
30	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6
40	1.2	1.5	1.8*	2.1	2.4	2.7
50	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
60	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
70	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5
80	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4

\*A 3.0 m deep sedimentation basin having an overflow rate of 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d will provide a detention period of 1.8 h.

(Sumber: Tabel 12.2 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants :Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

3) Dimensi

a) *Rectangular*

- Panjang (L) = 10 -100 m

- Lebar (B) = 3 – 24 m

- Kedalaman (H) = 2,5 – 5 m

- P : L = 1 – 7,5 : 1

- P : H = 4,2 – 25 : 1

b) *Circular*

- Diameter (D) = 3 – 60 m

- Kedalaman = 3 – 6 m

(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

4) % Removal TSS = 50% – 70%

(Sumber: (Huisman, 1977) *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration*. Delft University of Technology. Halaman 12)

5) Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (aliran laminar)

6) Bilangan Freud (NFr) = >10 – 5 (mencegah aliran pendek)

(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

7) *Spesifik Gravity Suspended Solid* = 1,3 -1,5

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition*. In *Chemical engineering (Issue 4)*. McGraw - Hill Companies, Inc.. Halaman 411)

8) Slope ke arah Zona *Sludge*

- *Rectangular* = 1% - 2%

- *Circular* = 40 – 100 m/m

(Sumber: (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)

9) Cek NRe partikel < 0,5

10) Syarat terjadinya pengendapan ( $T_p < T_d$ )

11) Syarat terjadinya penggerusan ( $V_{sc} > V_h$ )

12) Suhu air buangan 26°C, sehingga

- *Kinematic Velocity* ( $\theta$ ) =  $8,77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

- *Absolute Velocity* ( $\mu$ ) =  $8,75 \times 10^{-4} \text{ (N)(s)/m}^2$

- Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99681 \text{ gr/cm}^3$

=  $996,81 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company. Halaman 762)

13) *Koef. Manning* ( $n$ ) = 0,012 – 0,016 (untuk bahan beton)

Dapat dilihat pada Tabel 2 . 1.

(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)**

14) *Kontrol penggerusan*

- Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,05
- Factor fraksi hidolis ( $\lambda$ ) = 0,03

**(Sumber: (Huisman, 1977) *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration*. Delft University of Technology. Halaman 57)**

**b. Rumus yang digunakan**

1) Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan :

A = luas permukaan ( $m^2$ )

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

2) Cek *Over Flow Rate* (OFR)

$$\text{OFR} = \frac{Q}{L \times W}$$

Keterangan :

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

L = panjang(m)

W = lebar (m)

OFR = Over Flow Rate ( $m^3/m^2 \cdot s$ )

3) Kecepatan Pengendapan ( $v_s$ )

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

Keterangan :

$T_d$  = waktu detensi (s)

$V_s$  = kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

H = kedalaman (m)

4) Kecepatan Horizontal ( $v_h$ )

$$v_h = \frac{L}{T_d}$$

Keterangan :

$V_h$  = kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

L = panjang pipa (m)

Td = waktu detensi (s)

5) Jari – Jari Hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

6) Diameter Partikel (Dp)

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

Keterangan :

Dp = diameter partikel (m)

$\vartheta$  = kinematic *viscosity* ( $m^2/s$ )

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

VS = kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

SS = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

7) Bilangan Reynolds (NRe)

a) Nre Partikel

$$NRe = \frac{v_s \times D_p}{\vartheta}$$

Keterangan :

NRe = Bilangan Reynolds

VS = kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

Dp = diameter partikel (m)

$\vartheta$  = *kinematic viscosity* ( $m^2/s$ )

b) NRe Zona Settling

$$NRe = \frac{v_h \times R}{\vartheta}$$

Keterangan :

NRe = Bilangan Reynolds

Vh = kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

R = jari – jari hidrolis (m)

$\vartheta$  = kinematic viscosity ( $m^2/s$ )

8) Bilangan Freud (NFr)

$$NFr = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan :

NFr = Bilangan Freud

Vh = kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

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

9) Cek Penggerusan / Kecepatan *Scouring* ( $v_{sc}$ )

$$v_{sc} = \left[ \left( \frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (Ss - 1) \times g \times Dp \right]^{1/2}$$

Keterangan :

$v_{sc}$  = Kecepatan *Scouring* ( $m^2/s$ )

Ss = *Specific Gravity Suspended Solid*

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

Dp = diameter partikel (m)

10) Slope Bak

$$S_{bak} = 2\% \times L$$

Keterangan :

$S_{bak}$  = slope bak (m/m)

L = panjang bak (m)

11) Kehilangan Tekanan pada Zona *Settling*

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

Keterangan :

Hf = kehilangan tekanan pipa (m)

Vh = kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

n = koefisien kekasaran manning

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang bak (m)

## 2. Zona Inlet

### a. Kriteria Perencanaan

- 1) Berbentuk saluran terbuka

### b. Rumus yang digunakan

- 1) Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan :

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

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

- 2) Volume Zona Inlet

$$V = Q \times Td$$

Keterangan :

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

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

Td = waktu detensi (s)

- 3) Kedalaman Zona Inlet

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

$$H_{total} = H + Fb \times H$$

Keterangan :

H = kedalaman bak (m)

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

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

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

- 4) Kecepatan Aliran

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

Keterangan :

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

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

W = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

5) Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan :

R = jari – jari hidrolis (m)

W = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

### 3. Zona Lumpur

#### a. Kriteria Perencanaan

1) *Volatile Solid* = 60 – 90 %

2) *Dry Solid* = 3 – 8 %

**(Sumber: (Qasin, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428)**

3) *Spesific Gravity Suspended Solid* = 1.3 – 1.5

**(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse Fourth Edition*. In *Chemical Engineering (Issue 4)*. McGraw – Hill Companies, Inc. Halaman 411)**

4) Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0.99681 gr/cm<sup>3</sup>  
= 996.81 kg/m<sup>3</sup>

**(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company. Halaman 762)**

#### b. Rumus yang digunakan

1) *Removal TSS* (output *Sludge* di Bak Pengendap)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \%removal))$$

Keterangan :

C<sub>n</sub> = *Removal TSS* (mg/L)

C<sub>o</sub> = TSS inlet (mg/L)

*%removal* = persentase *Removal TSS*



2) Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = \text{removal TSS} \times Q$$

Keterangan :

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

3) Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

$$\frac{95\%}{5\%}$$

= perbandingan antara air & solid

4) Berat Jenis Solid

$$S_g = (60\% \times S_g \text{ Volatil Solid}) + (40\% \times S_g \text{ Fixed Solid})$$

Keterangan :

$$S_g = \text{berat jenis solid (kg/m}^3\text{)}$$

5) Berat jenis *Sludge* ( $S_i$ )

$$S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})$$

Keterangan :

$$S_i = \text{berat jenis sludge (kg/m}^3\text{)}$$

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

6) Volume Solid ( $V_{\text{solid}}$ )

$$(V_{\text{solid}}) = \frac{\text{Berat Solid}}{S_g \text{ Solid}}$$

Keterangan :

$$V_{\text{solid}} = \text{volume solid (m}^3\text{)}$$

$$S_g = \text{berat jenis solid (kg/m}^3\text{)}$$

7) Volume Air

$$V_{\text{air}} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho_{\text{air}}}$$

Keterangan :

$$V_{\text{air}} = \text{volume air (m}^3\text{)}$$

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

8) Volume Lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = V_{\text{air}} + V_{\text{Solid}}$$

Keterangan :

Vair = volume air (m<sup>3</sup>)

Vsolid = volume solid (m<sup>3</sup>)

9) Dimensi Ruang Lumpur

Volume Lumpur (m<sup>3</sup>) =  $V_{lumpur}$  (m<sup>3</sup>) × periode pengurasan

– Luas Atas

Aa =  $La \times Wa$

– Luas Bawah

Ab =  $Lb \times Wb$

– Kedalaman Ruang Lumpur

VRuang Lumpur =  $\frac{1}{3} \times H \times ((Aa + Ab) + (\sqrt{Aa + Ab}))$

Keterangan :

H = kedalaman (m)

Aa = luas permukaan atas (m<sup>2</sup>)

Ab = luas permukaan bawah (m<sup>2</sup>)

La = panjang atas (m)

Wa = lebar atas (m)

Lb = panjang bawah (m)

Wb = lebar bawah (m)

10) Pipa Penguras

a) Debit Pengurasan

Dp =  $\frac{V_{ruang\ lumpur}}{Td}$

Keterangan :

Qp = debit pengurasan (m<sup>3</sup>/s)

Td = waktu detensi (s)

b) Diameter Pipa Penguras

D =  $\sqrt{\frac{4A}{n}}$

Keterangan :

D = diameter pipa (m)

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

$\pi$  = phi dengan besar 3.14

#### 4. Zona Outlet

##### a. Kriteria Perencanaan

- 1) Zona outlet bak pengendap I berupa weir bergerigi (V-Notch)
- 2) Bentuk Gutter adalah persegi panjang
- 3) Weir Loading Rate
  - 124 m<sup>3</sup>/m.hr untuk debit 44 L/s
  - 186 m<sup>3</sup>/m.hr untuk debit > 44 L/s

(Sumber: (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 270)

##### b. Rumus yang digunakan

- 1) Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan :

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

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

- 2) Volume Zona Inlet

$$V = Q \times Td$$

Keterangan :

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

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

Td = waktu detensi (s)

- 3) Kedalaman Zona Inlet

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

$$H_{total} = H + Fb \times H$$

Keterangan :

H = kedalaman bak (m)

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

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

H = kedalaman bak (m)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

4) Kecepatan Aliran

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

Keterangan :

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

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

W = lebar bak (m)

H = kedalaman (m)

5) Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan :

R = jari – jari hidrolis (m)

W = lebar bak(m)

H = kedalaman bak (m)

6) Kehilangan Tekanan

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

Keterangan :

Hf = kehilangan tekanan pipa (m)

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

n = koefisien kekasaran manning pipa besi tanpa lapisan

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

S = kemiringan pipa (m/m)

7) *Gutter* dan *Weir* (Pelimpah)

a) Panjang *Weir* (Pw)

$$P_w = \frac{Q}{(\text{Weir Loading Rate} \times \text{Jumlah Weir})}$$

Keterangan :

Pw = Panjang Weir (m)

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

b) Luas Saluran Pelimpah/Gutter

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

Keterangan :

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

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

v = kecepatan aliran (m/s)

c) Ketinggian air pada Gutter (Hair)

$$\text{Hair} = \left( \frac{Q_{\text{Gutter}}}{1.38 \times \text{Lebar Gutter}} \right)^{2/3}$$

Keterangan :

Hair = ketinggian air (m)

Q<sub>Gutter</sub> = debit yang melalui gutter (m<sup>3</sup>/s)

d) Tinggi Gutter (H<sub>Gutter</sub>)

$$H_{\text{Gutter}} = H + Fb \times H$$

Keterangan :

H<sub>Gutter</sub> = tinggi Gutter (m)

H = kedalaman (m)

Fb = Freeboard (m)

$$= 20\% \times H$$

e) Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R_{\text{Gutter}} (m) = \frac{\text{Hair} (m) \times \text{Lebar Gutter} (m)}{2 \times \text{Hair} (m) + \text{Lebar} (m)}$$

f) Luas Basah Gutter

$$A_{\text{Gutter}} = \text{Lebar Gutter} \times \text{Hair}$$

Keterangan :

A<sub>Gutter</sub> = luasgutter (m<sup>2</sup>)

Hair = ketinggian air (m)

g) Kemiringan Gutter

$$S = \left( \frac{Q_{\text{gutter}} \times n}{A \times R^{2/3}} \right)^2$$

Keterangan :

S = kemiringan *gutter* (m/m)

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

n = jumlah kisi (kisi / buah)

A = luas *gutter* (m<sup>2</sup>)

R = jari – jari hidrolis (m)

h) Kehilangan Tekanan pada *Gutter*

$$H_f = S \times L$$

Keterangan :

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

S = kemiringan pipa (m/m)

L = panjang pipa (m)

8) Kehilangan Tekanan pada *Gutter*

$$H_f = S \times L$$

Keterangan :

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

S = kemiringan pipa (m/m)

L = panjang pipa (m)

9) *V Notch*

a) Jumlah *V Notch*

$$N \text{ V Notch} = \frac{P_w \text{ (m)}}{\text{jarak antar Vnotch} + \text{lebar Vnotch}}$$

b) Debit mengalir tiap *V Notch*

$$Q_{Vnotch} = \frac{Q}{n \text{ Vnotch}}$$

Keterangan :

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

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

n = jumlah v notch

c) Tinggi peluapan melalui *V Notch* (H)

$$Q_{Vnotch} = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan :

$Q_{Vnotchv}$  = debit melalui Vnotch ( $m^3/s$ )

$C_d$  = koefisien *drag*

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

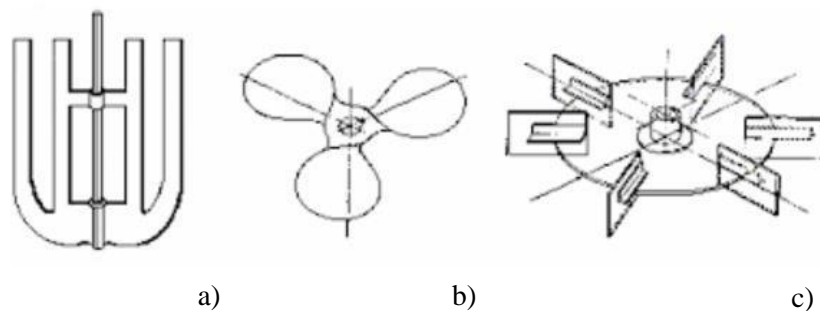
$H$  = kedalaman (m)

### 2.2.5 Netralisasi

Limbah cair industri biasanya bersifat asam dan basa sehingga memerlukan penetralan karena dapat mengganggu proses pengolahan berikutnya. Penetralan asam dan basa dilakukan dengan mempertahankan pH pada range 6 dan 9 untuk memastikan aktivitas biologis yang optimal. Pada proses biologis secara alami memungkinkan akan terjadi netralisasi akibat adanya produk  $CO_2$  dari pembakaran asam oleh buffer. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000).

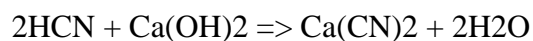
Bak Netralisasi digunakan untuk mencampurkan basa dengan air limbah (asam), agar mencapai pH netral yang dikehendaki. Proses netralisasi menggunakan 2 bak yaitu bak netralisasi dan bak pembubuh. Pada kedua bak terjadi pengadukan untuk mencampur atau menghomogenkan larutan. Proses pengadukan menggunakan prinsip mixing dengan aliran turbulen. Pada bak dilengkapi peralatan mekanis yaitu motor penggerak, dengan kriteria kecepatan pengadukan (Gambar 2 . 9) sebagai berikut (Reynolds & Richards, 1996):

- a. *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm
- b. *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
- c. *Propeller* dengan putaran 150 – 15000 rpm



**Gambar 2 . 10** a) *Paddle Impeller* b)*Propeller Impeller* c) *Turbine Impeller*

Pada limbah cair tepung tapioka terdapat kandungan sianida dalam bentuk HCN yang berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Alternatif pengolahan sianida dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Netralisasi. Adanya HCN pada air limbah membuat air menjadi asam, sehingga perlu penambahan basa untuk penetralan pH dan pengolahan sianida. Pada jurnal digunakan  $\text{Ca(OH)}_2$ , dengan reaksi sebagai berikut (Jeklin, 2016).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016).

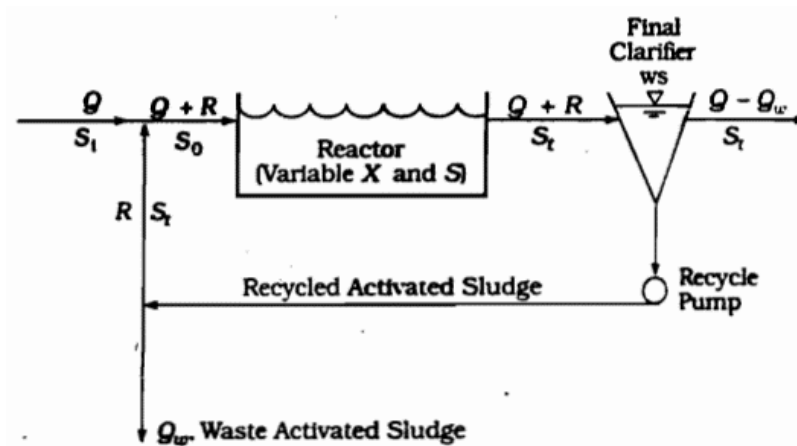
#### **2.2.6 Activated Sludge (Step Aeration)**

Activated Sludge (lumpur aktif) adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri aerobik dalam tangki aerasi. Energi yang digunakan bakteri berasal dari oksidasi senyawa organik dan organik karbon. Organik karbon yang digunakan adalah BOD dan COD yang kemudian disebut dengan substrat. Bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan pembentukan sel baru dan hasil lain berupa lumpur.

Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang 25 mengoksidasi material organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4$ . dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa Blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.



Metode pengolahan lumpur aktif (Activated sludge) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Untuk alur pengolahan pada Activated Sludge dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini



**Gambar 2 . 11** Proses pada Activated Sludge

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit Activated Sludge yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun jenis-jenis proses di dalam Activated sludge, yaitu:

### 1. Konvensional

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

## 2. Tapered Aerasi

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

## 3. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik untuk memproses lumpur aktif. Tangki lainnya adalah Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorpsi (proses stabilisasi).

## 4. Pure Oxygen

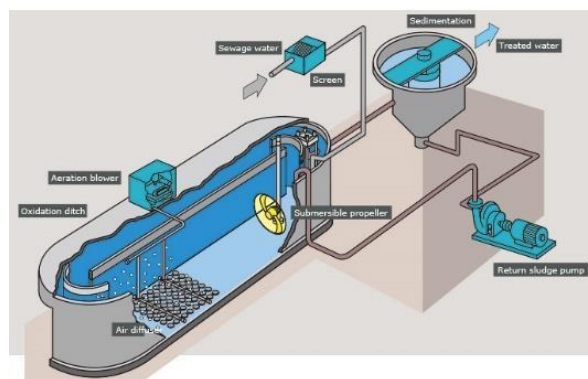
Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan di resirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan waktu tinggal pendek.

## 5. 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.

## 6. Oxidation Ditch

Bentuk oxidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Seperti pada Gambar 2.12 berikut ini.



**Gambar 2 . 12** Sketsa Oxidation Ditch

(Sumber:<https://www.jfe-eng.co.jp/en/products/aqua/aqua13.html>)

## 7. Step Aeration System

Merupakan type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju Outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4

titik ditangki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut :

➤ Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.

➤ Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakterisehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain :

• Makro nutrient

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

• Mikro nutrient

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

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling

baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.

➤ pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat di atasi dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau NaOH maupun larutan kapur.

➤ Temperatur

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

Adapun parameter penting untuk desain *Activated Sludge* adalah :

- a. F/M ratio, merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- b. Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *Activated Sludge* yang digunakan.
- c. Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C<sub>0</sub>).
- d. Waktu detensi (td) adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
- e. Volume bak aerasi (V).

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

## 1. Kriteria Perencanaan

- a. Umur lumpur ( $\theta_c$ ) = 5 – 15 hari
- b. Rasio F/M = 0.2 – 0.4 kg BOD/kg MLSS.d
- c. Volumetric Loading = 0.6 – 1 kgBOD/m<sup>3</sup>.d
- d. MLSS (X) = 2000 – 3500 mg/L

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). *Reuse, Wastewater Engineering : Treatment Disposal*. McGraw-Hill. Halaman 484 – 485)

- e. Waktu detensi (HRT) = 3 – 5 jam
- f. Rasio Resirkulasi (R) = 0.25 – 0.75
- g. Nilai Koefisien :
  - Rata-rata penggunaan Substrat (k) = 2 – 10 /hari
  - Konsentrasi Substrat (Ks) = 25 – 100 mg/L.BOD
  - Koefisien *Endogeneous* (Ke) = 0.025 – 0.075 /hari
  - *Yield Coefficient* (Y) = 0.4 – 0.8 mg MLVSS/mg BOD
- h. Suhu *correction Coefficient* ( $\theta$ ) = 1.03 – 1.09
- i. Kedalaman bak aerasi (H) = 3 – 4.5 m
- j. MLVSS (Xv) = 60 – 75% MLSS

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company. Halaman 450 – 459)

- k. Suhu air buangan 26 °C, sehingga
  - Kinematic *Viscosity* (P) =  $8.77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}$
  - Absolute *Viscosity* ( $\mu$ ) =  $8.75 \times 10^{-4} \text{ (N)(s)/m}^2$
  - Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0.99681 \text{ gr/cm}^3$   
=  $996.81 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company. Halaman 762)

- l. *Freeboard* = 10 – 20%
- m. *Safety factor* = 2

- n. *Return Sludge Ratio* = 0.7 – 1.2  
 o. *SS in return sludge* = 8000 – 12000 mg/l

(Sumber: (Von Sperling, 2007) *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. In Water Intelligence Online (Vol. 6, Issue 0). Halaman 36*)

## 2. Rumus yang digunakan

- a. Koefisien Kinetik pada suhu 26°C

- 1) Koefisien *Endogenous* (Kd)

$$K_d = K_{d20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan :

$K_d$  = Koefisien *Endogenous* (/hari)

$\theta$  = Suhu *correction Coefficient* (°)

- 2) Koefisien *Yield* (Y)

$$Y = Y_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan :

Y = Koefisien *Yield* (mg MLVSS/mg BOD)

$\theta$  = Suhu *correction Coefficient* (°)

- 3) Rata Rata Penggunaan Substrat (K)

$$K = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan :

K = Rata Rata Penggunaan Substrat (/hari)

$\theta$  = Suhu *correction Coefficient* (°)

- 4) Konsentrasi Substrat (Ks)

$$K_s = K_{s20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan :

$K_s$  = Konsentrasi Substrat (mg/L · BOD)

$\theta$  = Suhu *correction Coefficient* (°)

- b. BOD *ter removal*

$$\text{BOD } \textit{ter removal} = \text{BOD}_{\textit{influen}} \times \% \textit{ removal}$$

- c. Kadar MLVSS (Xv)

$$MLVSS = \%MLVSS \times MLSS(X)$$

d. *Sludge Volume Index (SVI)*

Direncanakan dari hasil analisa laboratorium diperoleh konsentrasi 2500mg/L MLSS dengan volume lumpur yang mengendap selama 30 menit dalam 1 liter sampel = 250 mL, maka :

**(Sumber : (Sumber : (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). *Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal*. McGraw-Hill. Halaman 685)**

$$SVI = \frac{V}{MLSS}$$

$$Xr = \frac{\frac{10^3 mg}{gr} \times 10^3 mL/L}{SVI}$$

Keterangan :

SVI = *Sludge Volume Index (mL/gr)*

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

e. Debit Resirkulasi

$$Qr = R \times Q$$

Keterangan :

Qr = debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

R = Rasio Resirkulasi (m)

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

f. Debit Bak / Debit Total

$$Qa = Q + Qr$$

Keterangan :

Qa = Debit Total

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

Qr = debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

g. Konsentrasi BOD pada *Activated Sludge (Ca)*

$$Ca = \frac{(BOD_{influen} \times Q) + (BOD_{effluen} \times Qr)}{Qa}$$

Keterangan :

Ca = Konsentrasi BOD pada *Activated Sludge (mg/L)*

Qa = Debit Total (m<sup>3</sup>/s)

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

Qr = debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

h. Volume bak (V)

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (C_a - BOD_{efluen})}{X \times (1 + (K_d \times \theta_c))}$$

Keterangan :

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

Y = Yield Coefficient

$\theta_c$  = Suhu correction coefficient

Ca = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge (mg/L)

Qa = Debit Total (m<sup>3</sup>/s)

X = MLSS

Kd = Koefisien Endogeneous

i. Lumpur yang dihasilkan ( $\gamma_{obs}$ )

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

Keterangan :

( $\gamma_{obs}$ ) = Lumpur yang dihasilkan

Kd = Koefisien endogeneous

Y = Yield coefficient

$\theta_c$  = Suhu correction coefficient

j. Produksi Lumpur (Px)

$$P_x \text{ (MLVSS)} = \gamma_{obs} \times Q_a \times (C_a - BOD_{efluen})$$

Keterangan :

Px(MLVSS) = Produksi Lumpur

$\gamma_{obs}$  = Lumpur yang dihasilkan

Ca = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge (mg/L)

Qa = Debit Total (m<sup>3</sup>/s)

k. Kontrol F/M

$$F/M = \frac{Q_a \times C_a}{V \times X}$$

Keterangan :



F/M = F/M Ratio

Ca = Konsentrasi BOD pada *Activated Sludge* (mg/L)

Qa = Debit Total (m<sup>3</sup>/s)

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

X = MLSS

1. Debit Lumpur(Qs)

$$Q_s = \frac{V}{\theta_c}$$

Keterangan :

Qs = Debit Lumpur (m<sup>3</sup>/s)

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

$\theta_c$  = volume bak penampung (m<sup>3</sup>)

### 2.2.7 Clarifier

Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *Clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif.

Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah Clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

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).

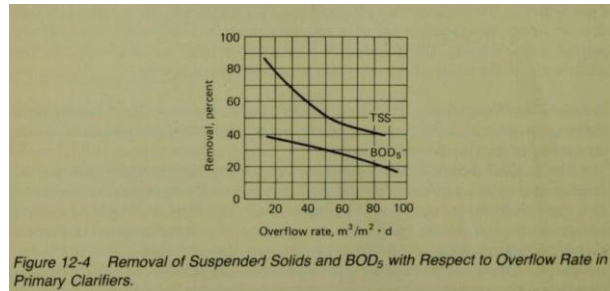
Berikut ini adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk merencanakan unit Clarifier.

## A. Zona Settling

### 1. Kriteria Perencanaan

#### a) *Over Flow Rate* (OFR)

- Average = 30 – 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hr
- Peak = 70 – 130 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hr



(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

- b) Waktu Tinggal (Td) = 0.6 – 3.6 jam

TABLE 12-2 Detention Times for Various Overflow Rates and Tank Depths

Overflow Rate (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d)	Detention Period (h)					
	2.0-m Depth	2.5-m Depth	3.0-m Depth	3.5-m Depth	4.0-m Depth	4.5-m Depth
30	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6
40	1.2	1.5	1.8*	2.1	2.4	2.7
50	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
60	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
70	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5
80	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4

\* A 3.0 m deep sedimentation basin having an overflow rate of 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d will provide a detention period of 1.8 h.

(Sumber: Tabel 12.2 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

- c) Dimensi

*Rectangular*

Panjang (L) = 10 – 100 m

Lebar (B) = 3 - 24 m

Kedalaman (H) = 2.5 – 5 m

$$P : L = 1 - 7.5 : 1$$

$$P : H = 4.2 - 25 : 1$$

*Circular*

$$\text{Diameter (D)} = 3 - 60 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 3 - 6 \text{ m}$$

**(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)**

d) %Removal TSS = 50 – 70 %

**(Sumber: (Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12)**

e) Bilangan Reynold (NRe) = < 2000 (aliran laminar)

f) Bilangan Freud (NFr) = > 10<sup>-5</sup> (mencegah aliran pendek)

**(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)**

g) Spesifik Gravity Suspended Solid = 1.3 – 1.5

**(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc.. Halaman 411)**

h) Slope ke arah Zona Sludge

- *Rectangular* = 1 % – 2 %

- *Circular* = (40 – 100 m/m)

**(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)**

i) Cek NRe partikel < 0.5

j) Syarat terjadinya pengendapan (Tp < Td)

k) Syarat terjadinya penggerusan (Vsc > Vh)

l) Suhu air buangan 26 °C, sehingga

- Kinematic Viscosity (P) =  $8.77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}$

- Absolute Viscosity ( $\mu$ ) =  $8.75 \times 10^{-4} \text{ (N)(s)/m}^2$

- Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0.99681 gr/cm<sup>3</sup>  
= 996.81 kg/m<sup>3</sup>

**(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)**

- m) Koef. Manning (n) = 0.012 – 0.016 (Tabel 2 . 1)

**(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)**

- n) Kontrol Penggerusan

- Factor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0.05
- Factor fraksi hidrolis ( $\lambda$ ) = 0.03

**(Sumber: Huisman, L., 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Delft. hal 57)**

## 2. Rumus yang digunakan

- a) Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan :

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

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

- b) Diameter Bak

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

Keterangan :

D = diameter pipa (m)

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

$\pi$  = phi dengan besar 3.14

- c) Diameter Partikel (Dp)

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

Keterangan :

$D_p$  = diameter partikel (m)

$\vartheta$  = kinematic viscosity ( $m^2/s$ )

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

$VS$  = kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

$SS$  = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

## B. Zona Inlet

### 1. Rumus yang Digunakan

a) Diameter inlet wall ( $D'$ )

$$D' = 20\% \times \text{Diameter bak}$$

Keterangan :

$D$  = diameter pipa (m)

b) Luas Permukaan

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

Keterangan :

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

$\pi$  = *phi* dengan besar 3.14

$D$  = diameter pipa (m)

c) Kecepatan air di inlet wall

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

Keterangan :

$V$  = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

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

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

## C. Zona Thickening

### 1. Rumus yang digunakan

a) MLVSS dalam *Clarifier*

MLVSS yang tetap tinggal di *Clarifier* adalah

$$MLVSS_{AS} = \% \text{biological} \times MLVSS_{Total}$$

b) Massa Solid Total pada *Clarifier*

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

c) Kedalaman Zona Thickening

$$H = \frac{M_{\text{solid total}}}{X \times A}$$

Keterangan :

X = MLSS

#### D. Zona Lumpur

##### 1. Kriteria Perencanaan

a) Volatile Solid = 60 – 90 %

b) Dry Solid = 3 – 8 %

(Sumber : (Qasim, 1985), **Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428**)

c) Spesifik Gravity Suspended Solid = 1.3 -1.5

(Sumber :(Metcalf & Eddy, 2003) **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc.. Halaman 411**)

d) Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0.99681 gr/cm<sup>3</sup>  
= 996.81 kg/m<sup>3</sup>

(Sumber : **Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762**)

##### 2. Rumus yang digunakan

a) Removal TSS (output Clarifier menuju SDB)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - 50\%))$$

Keterangan :

C<sub>n</sub>= TSS *ter removal*

C<sub>o</sub>= TSS inlet

b) Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = (\text{removal TSS} \times Q) + P \times M_{\text{MISS}}$$

c) Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

d) Berat Jenis Solid

$$Sg = (60\% \times Sg \text{ Volatil Solid}) + (40\% \times Sg \text{ Fixed Solid})$$

e) Berat jenis *Sludge* ( $S_i$ )

$$S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})$$

f) Volume Solid

$$V_{\text{solid}} = \frac{\text{Berat Solid}}{Sg \text{ Solid}}$$

g) Volume Air

$$V_{\text{air}} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho_{\text{air}}}$$

h) Volume Lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = V_{\text{air}} + V_{\text{Solid}}$$

i) Berat *Sludge*

$$\text{Berat Sludge} = V_{\text{lumpur}} \times S_i$$

j) Dimensi Ruang Lumpur

a) Volume ruang Lumpur

$$V_{\text{ruang umpur}} = \text{Volume Lumpur} \times \text{periode pengurasan}$$

b) Kedalaman Ruang Lumpur ( $H_{\text{lumpur}}$ )

$$V_{\text{ruang umpur}} = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + R \times r)$$

Keterangan :

$\pi$  = phi dengan besar 3.14

H = kedalaman bak kontrol (m)

R = jari – jari hidrolis (m)

r = jarak bukaan (m)

c) Kedalaman total *Clarifier*

$$H_{\text{Clarifier}} = H \text{ Settling} + H \text{ Thickening} + H \text{ Sludge}$$

## E. Zona Outlet

### 1. Rumus yang digunakan

a) Panjang Pelimpah (weir)

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

Keterangan :

$L_{weir}$  = panjang *weir*

$\pi$  = *phi* dengan besar 3.14

D bak = diameter bak (m)

b) Jumlah V Notch (n)

$$n = \frac{L_{weir}}{\text{jarak } v \text{ notch}}$$

Keterangan :

n = koefisien kekasaran manning pipa besi tanpa lapisan

$L_{weir}$  = panjang *weir*

c) Debit tiap V Notch

$$Q = \frac{Q}{n}$$

Keterangan :

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

n = jumlah *vnotch*

d) Tinggi peluapan melalui V Notch (Hair)

$$Q_{Vnotch} = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan :

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

Cd = koefisien drag

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

H = kedalaman (m)

### 2.2.8 Pengolahan Lumpur / *Sludge Drying Bed*

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. *Sludge* dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena sebagian besar *sludge* di komposisi dari bahan-bahan yang *responsible* untuk menimbulkan bau. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis di komposisi dari bahan organik, dan hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur dan untuk memanfaatkan lumpur sebagai



bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Jenis-jenis unit pengolahan lumpur meliputi:

- *Sludge Thickener*

*Sludge Thickener* adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan 33 kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe *Thickener* yang digunakan adalah *gravity Thickener* dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem *gravity Thickener* ini, lumpur diendapkan di dasar bak *sludge Thickener*.

- *Sludge Digester*

*Sludge Digester* berfungsi untuk menstabilkan *sludge* yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengkomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang.

- *Sludge Drying Bed*

*Sludge Drying Bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari *Thickener*. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan seperti pada **Gambar 2.14**. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.



**Gambar 2 . 13** Pengeringan pada Sludge Drying Bed

(Sumber: [https://www.researchgate.net/figure/Drying-beds-at-Niayes-faecal-sludge-treatment-plant-Dakar-Senegal-photo-Linda\\_fig1\\_269037413](https://www.researchgate.net/figure/Drying-beds-at-Niayes-faecal-sludge-treatment-plant-Dakar-Senegal-photo-Linda_fig1_269037413))

## 1. Kriteria Perencanaan

- a. Waktu pengeringan = 10 - 15 hari
- b. Tebal *sludge cake* = 20 – 30 cm
- c. Tebal pasir = 23 – 30 cm
- d. Lebar = 6 m
- e. Panjang = 6 – 30 m
- f. Slope = 1%
- g. Kecepatan aliran pipa (v) = > 0,75 m/s
- h. Berat air dalam cake (Pi) = 60% - 70%
- i. Kadar air (P) = 60% - 80%
- j. Kadar solid = 20% - 40%
- k. *Sludge* loading rate = 120 – 150 kg/solid kering/m<sup>2</sup>.tahun

(Sumber : Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572*)

## 2. Rumus yang digunakan

- a. Kedalaman underdrain

$$\text{Tebal Media} = \text{tebal pasir} + \text{tebal kerikil} + \text{tebal cake}$$

- b. Volume Lumpur Tiap Bed (Vb)

$$V_b = \frac{\text{Vol lumpur total}}{\text{jumlah bed}}$$

Keterangan :

Vb = Volume Lumpur Tiap Bed

- c. Volume *Sludge* Cake (Vi)

$$V_i = \frac{V_b \times (1-P)}{1-P_i}$$

Keterangan :

Vi = Volume *Sludge* Cake

Vb = Volume Lumpur

ρ = Kadar Air

Pi = Berat Air dalam Cake

- d. Volume Sluge Drying Bed (V)

$$V = V_i \times td$$

Keterangan :

V = Volume Bed

$V_i$  = Volume *Sludge* Cake

$t_d$  = waktu detensi (s)

e. Volume Air ( $V_a$ )

$$V_a = \frac{V \text{ lumpur total} - V_i}{\text{Jumlah bed}}$$

f. Debit Pipa Effluen Air

$$Q_{eff} = \frac{V_a}{T_d}$$

Keterangan :

$Q_{eff}$  = Debit pada Effluen

g. Luas Permukaan Pipa *Outlet*

$$A = \frac{Q_{eff}}{v}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

$Q_{eff}$  = Debit pada Effluen

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

h. Diameter Pipa Underdrain

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

Keterangan :

D = diameter pipa (m)

A = luas permukaan ( $m^2$ )

$\pi$  = *phi* dengan besar 3.14

i. Kedalaman Underdrain ( $H_{underdrain}$ )

$$H_{underdrain} = \frac{V_a}{A}$$

Keterangan :

$V_a$  = Volume air

A = luas permukaan ( $m^2$ )

j. Kedalaman Total

$H_{media}$  = Kedalaman cake + kedalaman media + kedalaman underdrain

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

### 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 2.4**.

**Tabel 2 . 4** *Persen Removal*

<b>Unit Pengolahan</b>	<b>%Removal</b>	<b>Sumber</b>
<b>1. Pre Treatment</b>		
<i>Screening</i>	-	-
Bak Penampung	-	-
Bak Netralisasi	pH 6.5 – 9.0	(Reynolds & Richards, 1996) <i>Unit Operations &amp; Processes in EnvironmentEngineering</i> , page 161
	96% Sianida	(Jeklin, 2016) Penurunan Kadar Sianida Limbah Cair Industri Tapioka dengan Larutan Kapur Tohor (Ca(OH) <sub>2</sub> ) di DesaNgemplak Kidul, Margoyoso, Pati. <i>Kesehatan Masyarakat</i> , 6(July), 1–23
<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>Anaerobic Filter</i>	50 – 90 % BOD	(Tilley et al., 2014) <i>Compendium of Sanitation Systems and Technologies</i>

	50 – 90 % COD	(2nd Revise). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Halaman 78-79
	50 – 80 % TSS	
<i>Activated Sludge(Step Aeration System)</i>	80% - 99% BOD	(Cavaseno, 1987) <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. McGraw-Hill, Inc.</i> Halaman 15
	50% - 95% COD	
	60% - 85% TSS	
<b>4. Tertiary Treatment</b>		
<i>Clarifier</i>	50% -70% TSS	(Huisman, 1977) <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration.</i> Delft University of Technology. Halaman 12

## 2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis disajikan secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan untuk menyatakan elevasi unit pengolahan (*influen - effluen*) dan perpipaan. Hal ini dilakukan untuk memastikan aliran air dapat mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk menghindari 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. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka

- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu
- d. Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus.

## 2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :

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

## 3. Tinggi Muka Air

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

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