

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Air Limbah Susu**

Dalam menentukan kualitas dari sebuah air dapat ditinjau berdasarkan kandungan yang ada didalamnya. Adapun beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kandungan sebuah air adalah sebagai berikut

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

BOD atau Biochemical Oxygen Demand adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf & Eddy, 1991). BOD juga dapat diartikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan (kandungan BOD pada suatu aliran limbah) melalui proses biokimia bahan organik karbon (Sperling, 2007).

Kandungan BOD yang ada di industri susu adalah 1080 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, BOD yang diperbolehkan adalah 40 mg/L.

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

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia (Metcalf & Eddy, 1991). Tujuan dari tes COD adalah Tes mengukur konsumsi oksigen yang terjadi sebagai akibat dari oksidasi kimia bahan organik. Oleh karena itu, nilai yang diperoleh merupakan indikasi tidak langsung dari tingkat bahan organik yang ada (Sperling, 2007). Pada limbah susu, COD dapat berasal dari senyawa organik seperti protein, lemak, dan laktosa.

Kandungan COD yang ada di industri susu adalah 2040 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, COD yang diperbolehkan adalah 100 mg/L.

#### 2.1.3 TSS (Total Solid Suspended)

Total padatan ada berbagai macam antara lain padatan terendap, padatan tersuspensi dan padatan terlarut. Padatan terendap adalah padatan dalam limbah cair yang mengendap pada dasar dalam waktu 1 jam. Padatan ini biasanya diukur pada kerucut imhoff berskala dan dilaporkan sebagai ml padatan terendap per liter. Padatan terendap merupakan indikator jumlah padatan limbah yang akan mengendap pada alat penjernih dan kolam pengendapan (Metcalf & Eddy, 1991).

Kandungan TSS yang ada di industri susu adalah 530 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, TSS yang diperbolehkan adalah 50 mg/L.

#### 2.1.4 Minyak dan lemak

Setiap aspek pengolahan awal perlu mempertimbangkan kehadiran minyak dan lemak dalam limbahnya. Hal ini disebabkan karena kehadiran kandungan minyak dan lemak dalam limbah industri dapat menghasilkan banyak permasalahan dalam proses pengolahan limbah industri. Menurut (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008), permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri antara lain:

- Tersumbatnya saluran pembawa.
- Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa
- Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses

berikutnya.

- Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.
- Tertutupnya porositas (pori-pori) karbon aktif akibat minyak dan lemak pada proses filtrasi.
- Sukarnya pemadatan dan pengurangan kandungan air pada proses *biosolid*

Kandungan minyak dan lemak yang ada di industri susu adalah 50 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, minyak dan lemak yang diperbolehkan adalah 10 mg/L.

#### 2.1.5 NH<sub>3</sub>N (Amonia – Nitrogen)

Dalam limbah domestik mentah, bentuk yang dominan adalah nitrogen organik dan amonia. Nitrogen organik sesuai dengan gugus Amina. Amonia terutama berasal dari urea, yang terhidrolisis dengan cepat dan jarang ditemukan di limbah mentah. Keduanya, bersama-sama, ditentukan di laboratorium dengan metode Kjeldahl, yang menghasilkan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Sebagian besar TKN di limbah domestik memiliki asal fisiologis. Dengan ini, dapat disimpulkan bahwa:

$$\text{TKN (NH}_4\text{-N)} = \text{Amonia Nitrogen} + \text{Nitrogen Organik (Sperling, 2007)}$$

Kandungan ammonia nitrogen yang ada di industri susu adalah 25 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, ammonia nitrogen yang diperbolehkan adalah 10 mg/L.

#### 2.1.6 pH

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

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

Kebanyakan Mikroorganisme dapat hidup pada tingkat keasaman (pH) antara 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya beradapada rentang antara 6.5 sampai 8.5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan. (Metcalf & Eddy, 2003)

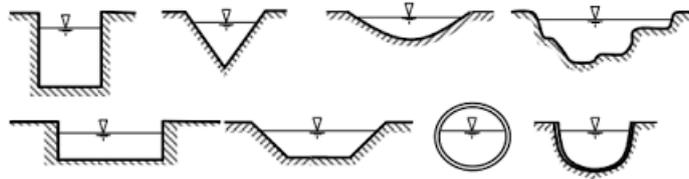
Kandungan pH yang ada di industri susu adalah 8. Sedangkan pada Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Susu, pH yang diperbolehkan adalah 100 mg/L.

## 2.2 Bangunan Pengolah Air Buangan

### 2.2.1 Saluran Pembawa

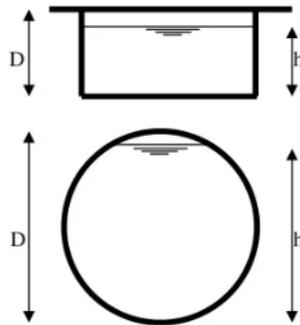
Saluran pembawa adalah saluran yang mengalirkan air dari suatu bangunan ke bangunan pengolahan limbah lainnya. Saluran pendukung ini biasanya terbuat dari dinding beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran terbuka terbuka dan tertutup. Saluran ini dapat mengalirkan air dengan memperhatikan perbedaan ketinggian atau elevasi antar bangunan satu dengan bangunan lainnya. Kemiringan/slope (m/m) diperlukan jika saluran pembawa ini berada diatas lahan yang datar.

Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut



Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk Saluran Pembawa

Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.2 Detail Saluran Pembawa

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

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

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

v = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Luas Permukaan

$$H = \frac{A}{B} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

A = Debit limbah (m<sup>2</sup>)

B = Lebar saluran pembawa (m/s)

$$H_{total} = H + (10\% - 30\% \times H) \dots \dots \dots 2.3$$

Keterangan:

H total = Kedalaman total saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

Fb = 10% - 30 %

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Slope Saluran Pembawa

$$h = \frac{v^2}{2 \times g} \dots \dots \dots 2.4$$

Keterangan:

h = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

v = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

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

$$H_f = n \times L \dots \dots \dots 2.5$$

Keterangan:

Hf = Headloss saluran pembawa (m)

n = Koefisien manning bahan

L = Panjang saluran pembawa (m)

$$S = h_{statis} \times H_f \dots \dots \dots 2.6$$

Keterangan:

S = Slope saluran pembawa (m)

$h$  = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh  $H$  friksi

$H_f$  = Headloss saluran pembawa (m)

- Cek Kecepatan

$$V =$$

$$\frac{Q}{B \times H} \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots 2.7$$

### 2.2.2 Bar Screen

Screening merupakan unit pengolahan pertama yang sering digunakan pada proses pengolahan air buangan. Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

- Kerusakan pada alat pengolahan
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan
- Kontaminasi pada aliran air. (Metcalf & Eddy, 2003)

#### a. Coarse Screen (Penyaring Kasar)

Penyaring kasar atau coarse screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. Screening dengan

pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari stainless steel atau dari plastik.

Tabel 2.1 Ukuran Kisi Bar Screen

Parameter Ukuran batang	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
<b>UKURAN BATANG</b>						
Lebar	Inch	0.2 – 0.6	0.2 – 0.6	Inch	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	Inch	1.0 – 1.5	1.0 – 1.5	Inch	25 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	Inch	1.0 – 2.0	0.6 – 3.0	Inch	25 – 50	15 – 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 – 45	0 – 30	°	30 – 45	0 – 30
<b>KECEPATAN</b>						
Maksimum	Ft/s	1.0 – 2.0	2.0 – 3.25	Ft/s	0.3 – 0.6	0.6 – 1.0
Minimum	Ft/s		1.0 – 1.6	Ft/s		0.3 – 0.5
Headloss	Inch	6	6 – 24	Inch	150	150 – 600

(Sumber: Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Halaman 316)

b. Fine Screen

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. Screen ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (Pre-Treatment) maupun pengolahan pertama atau utama (Primary Treatment). Penyaring halus (Fine Screen) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Premilinary Treatment) adalah seperti, ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum), atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m<sup>3</sup>/s. Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.

Tabel 2.2 Jenis dan Karakteristik Bar Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi ukuran	Range Ukuran			
		Inch	mm		
Miring (diam)	Sedang	0,01-0,1	0.25 – 2.5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer
Drum (berputar)	Kasar	0.1 – 0.2	2.5 – 5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan pedahuluan
	Sedang	0.01 – 0.1	0.25 – 2.5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer
	Halus		6 – 35 $\mu\text{m}$	Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating Tangential	Sedang	0.06	0.17	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
	Halus	0.0475	1200 $\mu\text{m}$	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber : Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Tabel 5.4)

c. Micro Screen

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

Pada unit pengolahan ini menggunakan bar screen jenis penyaringan kasar atau coarse screen. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini sebagai berikut.

- Jumlah batang/kisi

$$W_s = (n \times d) + (n + 1)r \dots\dots\dots 2.8$$

Keterangan:

- $W_s$  = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)
- $n$  = Jumlah batang / kisi
- $d$  = Lebar batang (m)
- $r$  = Jarak antar batang (M)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - (n \times d) \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan:

- $W_c$  = Lebar bukaan kisi (m)
- $W_s$  = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)
- $n$  = Jumlah batang / kisi
- $d$  = Lebar batang (m)

- Panjang kisi

$$\sin \theta = \frac{H \text{ bangunan}}{x} \dots\dots\dots 2.$$

10

Keterangan:

x = Panjang kisi (m)

sin θ = Kemiringan screen

H bangunan = tinggi screen (m)

- Lebar

$$\sin \theta = \frac{L \text{ bangunan}}{x} \dots\dots\dots 2.$$

11

Keterangan:

x = L bangunan (m)

sin θ = Kemiringan screen

x = Panjang bangunan (m)

- Cek kecepatan melalui kisi

$$v_i = \frac{Q}{W_c \times H \text{ air}} \dots\dots\dots 2.12$$

Keterangan:

v<sub>i</sub> = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

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

W<sub>c</sub> = Lebar bukaan kisi (m)

h = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Headloss pada bar screen

- Ketika non clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \frac{v^2 - v'^2}{2g} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

h<sub>L</sub> = Headloss saat clogged screen

C = Koefisien discharge (0,7 untuk clean screen)

V<sup>2</sup> = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v<sup>2</sup> = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

o Ketika clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \frac{V^2 - v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

hL = Headloss saat clogged screen

C = Koefisien discharge (0,6 untuk clogged screen)

V<sup>2</sup> = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v<sup>2</sup> = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

### 2.2.3 Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan 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

- Waktu tinggal dalam bak = kurang dari 2 jam
  - Tinggi bak = 1,5 – 2,5 m
- (Metcalf & Eddy, 2003)

#### Rumus

- V bak kontrol
- $$V = Q \times Td \dots\dots\dots(2.$$

14)

- Dimensi bak pengumpul

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

$$H \dots \dots \dots (2.15)$$

- Kedalaman total  $H_{total} = H + \text{freeboard}$

- Check  $T_d$

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

$$\dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

V = Volume ( $m^3$ )

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

$T_d$  = Waktu tinggal (s)

H = tinggi bak

#### 2.2.4 Grease Trap

*Grease Trap* adalah alat perangkap *grease* atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun *stainless steel* sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

*Grease Trap* juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (recovery) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar lemak/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah (dicerna) dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun,

jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada *grease trap*. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada *grease trap* dihisap oleh pipa penghisap melalui *manhole*.

Jenis *Grease Trap*:

- a. Yang paling umum adalah *grease trap* pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. *Grease trap* ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan lemak akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
- b. Jenis yang paling umum kedua adalah tangki *in-ground* berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat / trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, lemak dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
- c. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices* atau Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Perencanaan

- Kecepatan aliran = 2-6 m/jam
- Waktu tinggal = 5 – 20 menit  
(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Rumus

- Volume yg dibutuhkan  
 $V = \text{debit influen} \times \text{waktu detensi}$   
.....(2.17)

- Luas area yang dibutuhkan  
 $A = \frac{Q}{v}$   
.....(2.18)

- Panjang kompartemen 1 = 2/3P  
Panjang kompartemen 2 = 1/3P  
 $A' = P \times L$   
.....(2.19)

- Cek Kecepatan Aliran :  
 $V = \frac{Q \text{ influen}}{\text{luas permukaan}}$   
.....(2.20)

- Kedalaman tangki  
Kedalaman aktif = 0,5 m  
Tinggi area pengendapan = 0,3 m  
Tinggi scum = 0,2 m  
Freeboard = 0,3 m  
Tinggi Total = 1,3 m
- Efisiensi pengolahan  
Konsentrasi lemak minyak dalam effluen = (1-efisiensi) x konsentrasi minyak... (2.21)

- Dimensi Pipa

$A =$

$$\frac{Q}{v} \dots\dots\dots$$

....(2.22)

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \dots\dots\dots(2.23)$$

- Headloss Grease Trap

- Jari – Jari Hidrolis (R)

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

....(2.24)

- Slope

$$Slope = \left( \frac{n \times v}{R^3} \right)^2 \dots\dots\dots(2.25)$$

### 2.2.5 Koagulasi - Flokulasi

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal  $Al^{3+}$ ) dengan ion negatif dari partikel (misal  $OH^-$ ) dan antara ion positif dari partikel (misal  $Ca^{2+}$ ) dengan ion negatif dari koagulan (misal  $SO_4^{2-}$ ) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016).

Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya van der Waals dan agitasi yang diberikan

menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok;

- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid;
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain:

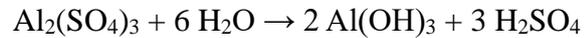
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan;
- Jumlah dan karakteristik koloid;
- Derajat keasaman air (pH);
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle;
- Temperatur air;
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur;
- Karakteristik ion-ion dalam air

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (secara grafitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004).

a. Alumunium Sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ )

Alumunium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas

karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut.



b. Koagulan Ferric Chloride ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

c. Koagulan Ferrous Sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ( $\text{pH} > 10$ ).

d. Koagulan Chlorinated Copperas ( $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ ),  $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8 hingga 11.

e. Koagulan Sodium Aluminate ( $\text{NaAlO}_2$ )

Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash.

f. Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Polimer aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH.

PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu

pengarahan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, dibedakan menjadi:

a. Pengadukan Cepat

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

b. Pengadukan Lambat

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

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi

a. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller).

Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik.

Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling).

- Paddle Impeller

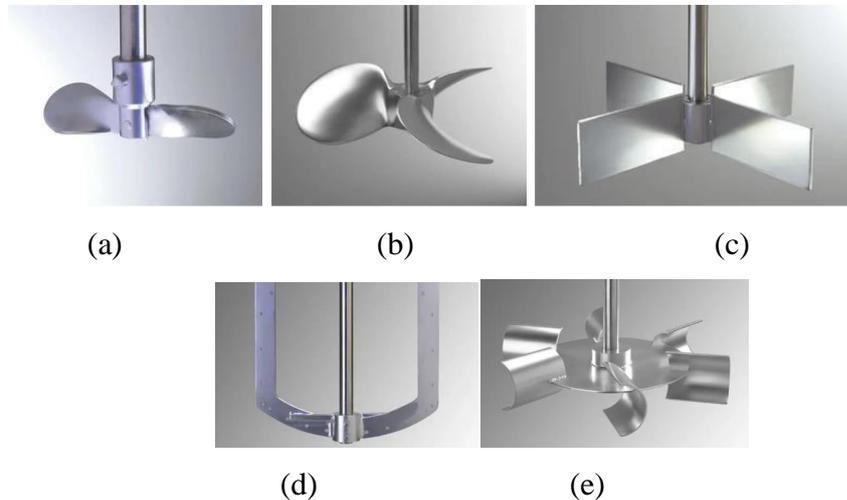
Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat blades. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter di atas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20- 150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynolds & Richards, 1996).

- Propeller Impeller

Propeller impeller memiliki dua atau tiga blades. Pitch didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya pitch adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter propeller maksimum 18 inchi. Kecepatan propeller biasanya 400 – 1750 rpm. Agitator propeller sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynolds & Richards, 1996).

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan  $t_d$ . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen 1 lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi

hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 3 Jenis-jenis Impeller (a) 2 blade impeller (b) 3 blade impeller (c) 4 blade impeller (d) Anchor Type Impeller (e) Agitator Impeller  
(Sumber: <https://www.directindustry.com/prod/lightnin/product-24564-59977.html>)

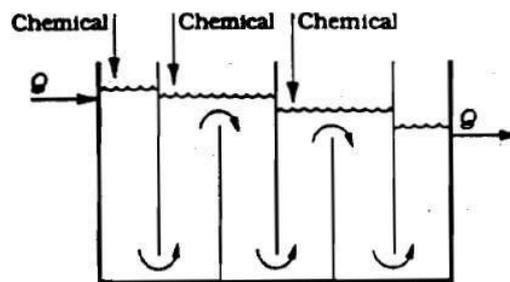
#### b. Pengadukan Hidrolis

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

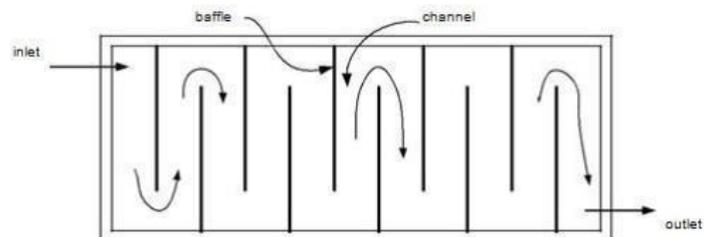
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan parshall flume.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan

energi 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/baffle channel, perforated wall, gravel bed dan sebagainya (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2. 4 Baffle Basin Rapid Mixing  
Sumber: (Reynolds & Richards, 1996)



Gambar 2. 5 Baffle Channel untuk Pengadukan Lambat  
Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2016)

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

Bak Pembubuh Koagulan

- Kebutuhan koagulan harian

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{Dosis koagulan} \times Q$$

dengan:

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{Jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)}$$

$$\text{Dosis koagulan} = \text{Dosis optimum koagulan (mg/L)}$$

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

- Debit koagulan per hari

$$Q \text{ koagulan} = \frac{\text{kebutuhan koagulan}}{p \text{ koagulan}} \times td$$

dengan:

Q koagulan = Debit koagulan (L/hari)

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan dibutuhkan perhari  
(kg/hari)

$\rho$  koagulan = Massa jenis koagulan (kg/L)

td = Periode / lama pelarutan (hari)

- Debit air pelarut

$$Q \text{ pelarut} = \frac{100 - \text{pelarutan}}{\% \text{ pelarutan}} \times Q \text{ koagulan}$$

dengan :

Q air pelarut = Air yang dibutuhkan melarutkan koagulan  
(m<sup>3</sup>/hari)

Kadar air pelarut = Persen kandungan air dalam larutan

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

- Total debit tangki pembubuh

$$Q \text{ total} = Q \text{ koagulan} + Q \text{ air pelarut} \quad (2.48)$$

dengan:

Q koagulan = Volume koagulan per hari (m<sup>3</sup>/hari)

Q pelarut = Volume air pelarut per hari (m<sup>3</sup>/hari)

- Volume tangki pembubuh (pembubuhan dilakukan 1 hari)

$$V = Q \text{ total} \times td$$

dengan:

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

td = Periode / lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air pada bak pembubuh

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

dengan :

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

D = Diameter tangki pembubuh (m)

hair = Kedalaman air dalam bak pembubuh (m)

- Supply tenaga ke air / daya pengaduk

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

dengan :

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

$\mu$  = Viskositas absolut (N.s/m<sup>2</sup>)

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

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A.. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

- Diameter impeller

$$D_i = \left( \frac{P}{K_T \times \eta^3 \times \rho} \right)^{1/5}$$

dengan :

P = Supply tenaga ke air (Watt)

K<sub>T</sub> = Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

$\eta$  = Kecepatan putaran (rps)

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

- Jarak Impeller dengan dasar (H<sub>i</sub>)

$$H_i = \% \times D_i \text{ (2.53)}$$

dengan :

H<sub>i</sub> = Jarak impeller dengan dasar (m)

D<sub>i</sub> = Diameter impeller

% = Persentase diameter (30 – 50% D<sub>i</sub>)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 184. Boston: PWS Publishing Company)

- Cek diameter impeller

$$\text{Cek } D = \frac{D_{\text{Impeller}}}{D_{\text{Tangki}}} \times 100\%$$

dengan :

D impeller = Diameter impeller tangki (m)

D tangki = Diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 185. Boston: PWS Publishing Company).

- Lebar impeller

$$W_i = \frac{1}{x} \times D \text{ tangki}$$

dengan :

$W_i$  = Lebar impeller (m)

D tangki = Diameter tangki (m)

Lebar impeller = 1/6 – 1/10

- Cek bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{D_i^2 \times \eta \times \rho}{\mu}$$

dengan :

$N_{re}$  = bilangan Reynold

$D_i$  = Diameter impeller/pengaduk (m)

$\eta$  = Kecepatan putaran (rps)

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

$\mu$  = Viskositas absolut (N.s/m<sup>2</sup>)

Bilangan reynold dalam pengadukan cepat =  $N_{re} > 10000$  Turbulen

Bilangan reynold dalam pengadukan cepat lambat =  $N_{re} < 2000$

Laminer

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

## 2.2.6 Activated Sludge

Pengolahan *activated sludge* atau lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam

tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan mikroba sebagai pengurai. Bakteri dan mikroba ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas. Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut:

a. Konvensional

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

b. Non-konvensional

- *Step Aeration*

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

- *Tapered Aeration*

*Tapered aeration* Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.

- *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:

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

- *Pure Oxygen*  
*Pure oxygen* diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan *td* pendek.
- *High Rate Aeration*  
 Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1-5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.
- *Extended Aeration*  
 Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan *time detention (td)* lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.

#### Kriteria Perencanaan

- Menggunakan *mechanical surface aerator*
- Umur lumpur ( $\theta_c$ ) = 4 – 10 hari
- Ratio F/M = 0,1 – 0,6 hari  
(Sperling, 2007)
- MLSS (X) = 2000 – 4000 mg/l
- Kedalaman (H) = 4,5 – 7,5 m  
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Freeboard bak = 30 – 60%  
(Metcalf & Eddy, 2003)
- MLVSS ( $X_v$ ) = 1500 – 3500 mg/l
- Ratio MLSS/MLVSS = 0,70 – 0,85  
(Sperling, 2007)
- Rasio Resirkulasi ( $Q_r/Q$ ) = 0,25 – 2  
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Temperature activity coefficient ( $\Theta$ ) activated sludge = 1,02 – 1,25  
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Safety factor = 1,75 – 2,5 (karena mengandung ammonia)  
(Metcalf & Eddy, 2003)

- l. Perode aerasi (td) = 6 – 8 jam
- m. Jumlah mikroorganisme (Sa) = 2500 – 3500 ppm
- n. Jumlah mikroorganisme Resirkulasi (Sr) = 8000 – 10000 ppm  
(Metcalf & Eddy, 1991)
- o. 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
 (Reynolds, *et al.*. 1996)

### Rumus

- Partikula BOD Efluent
  - $BOD_{ss} = BOD \text{ Efluent} \times (MLVSS/MLSS) \times F_b$
  - $BOD_{terlarut} = BOD \text{ effluent} - BOD_{ss}$
 Dengan:  
 $VSS/SS$  = rasio perbandingan VSS dan SS  
 $FB$  = Fraksi biodegradable  
 (Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge adn Aerobic Biofilm Reactor, hal 29)
- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD
 
$$E = \frac{BOD \text{ inf} - BOD \text{ terlarut}}{BOD \text{ inf}} \times 100\%$$
 (Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge adn Aerobic Biofilm Reactor, hal 30)
- Debit resirkulasi
 
$$Q = R \times Q_0$$
 Dengan :  
 $Q_r$  = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/detik)  
 $Q_0$  = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/detik)  
 $R$  = Rasio resirkulasi

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 36)

- Debit total bioreaktor

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

Dengan :

$Q_{tot}$  = Debit total (m<sup>3</sup>/detik)

$Q_r$  = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/detik)

$Q_o$  = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/detik)

- Konsentrasi BOD dala bioreaktor ( $S_a$ )

$$S_a = \frac{(S_o \times Q_o) + (S_r \times Q_r)}{(Q_o \times Q_r)}$$

Dengan :

$S_a$  = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

$S_r$  = Konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

$S_o$  = Konsentrasi BOD awal (mg/L)  $Q_r$  = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/detik)

$Q_o$  = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/detik)

- Volume bioreaktor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (S_o - S_a)}{X_a \times (1 + K_d \times F_B \times \theta_c)}$$

Dengan :

$V$  = volume bioreaktor

$Y$  = Yield coefficient (g VSS / G BOD 5 Removed)

$\theta_c$  = umur lumpur (hari)

$S_a$  = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

$S_o$  = konsentrasi BOD awal (mg/L)

$Q_a$  = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/detik)

$X_a$  = MLVSS (mg/L)

$K_d$  = Endogenous respiration coefficient (g VSS/ g VSS.d)

$F_B$  = Biodegradable fraction of VSS

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge adn Aerobic Biofilm

Reactor, hal 21)

- Kedalaman bioreaktor

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

Dengan :

H total = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

Fb = freeboard (5% - 30% × h)

- F/M Ratio

$$F/M \text{ ratio} = \frac{S_a}{t_d \times X_a}$$

Dengan :

Sa = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

Xa = MLVSS (mg/L)

Td = waktu tinggal hidrolis (jam)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X_a(Q_a \times Q_r)}{Q_r}$$

Dengan :

Xr = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Qr = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/detik)

Qo = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/detik)

Xa = MLVSS (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm

Reactor, hal 35)

- Produksi lumpur tiap hari

$$Y_{obs} = \frac{y}{1 + F_B \times K_d \times \theta_c}$$

Sr = Qa × (So - Sa)

Px = Yobs × Sr

Dengan :

Px = produksi lumpur (kg/hari)

Yobs = koefisien observed yield

- $\Theta_c$  = umur lumpur (hari)
- $K_d$  = endogenous respiration coefficient (g VSS /G VSS/d)
- $F_b$  = biodegradable fraction of VSS
- $S_r$  = penyisihan beban BOD (kg/hari)
- $S_a$  = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)
- $S_o$  = Konsentrasi BOD awal (mg/L)
- $Q_a$  = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/detik)

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 39)

- Debit lumpur yang dibuang

$$Q_{ex} = \frac{V}{\Theta_c}$$

$$Q_{ex} = \frac{V}{\Theta_c} \times \frac{X}{X_r}$$

Dengan :

- $V$  = volume bioreaktor
- $\Theta_c$  = umur lumpur
- $X$  = MLSS (mg/L)
- $X_r$  = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 43 -44)

- Volume lumpur

$$V_{lumpur} = \frac{P_x}{\rho_{lumpur} \times c} \times \Theta_c$$

Dengan:

- $V_{lumpur}$  = volume lumpur (m<sup>3</sup>)
- $P_x$  = Produksi lumpur (kg/hari)
- $\rho_{lumpur}$  = massa jenis lumpur (kg/m<sup>3</sup>)
- $C$  = konsentrasi lumpur
- $\Theta$  = umur lumpur(hari)
- Kebutuhan Oksigen

$$\begin{aligned} \text{Keb. } O_2 \text{ teoritis} &= \text{Keb teoritis} \times \text{faktor deain} \\ \text{Keb udara teoritis} &= \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ teoritis}}{\text{berat standar udara} \times \%O_2 \text{ udara}} \\ \text{Keb udara aktual} &= \frac{\text{Kebutuhan udara teoritis}}{\text{efisiensi blower}} \end{aligned}$$

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 66)

- Desain perpipaan diffuser

$$\text{Panjang pipa lateral (L}_L\text{)} = \frac{W \text{ bioreactor} - DM}{2}$$

$$L_M = (n \times D_L) + ((n + 1) \times r_L)$$

$$L_L = (n \times D_o) + ((n + 1) \times r_o)$$

Dengan :

$$L_M = \text{Panjang pipa manifold (m)}$$

$$L_L = \text{Panjang pipa lateral (m)}$$

$$D_M = \text{Diameter pipa manifold (m)}$$

$$D_L = \text{Diameter pipa lateral (m)}$$

$$D_o = \text{Diameter lubang oriface (m)}$$

$$r_L = \text{Jarak antar pipa lateral (m)}$$

$$r_o = \text{Jarak antar lubang oriface (m)}$$

### 2.2.7 Clarifier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi 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 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). *Secondary Settling (Clarifier)*, fungsinya sama dengan bak pengendap, tetapi clarifier biasanya di tempatkan setelah pengolahan kedua (pengolahan biologis).

Kriteria Desain Activated Sludge :

- Umur lumpur ( $\theta_c$ ) = 3 – 15 hari
- Rasio F/M = 0,25 – 0,4 kg BOD5/kg VSS.d

(Sumber : *Sperling MV, Biological Wastewater Treatment : Wastewater Characteristic, Treatment and Disposal, page 14*)

- Waktu detensi (td) = 6 – 8 jam
- *Yield Coefficient (Y)* = 0,5 – 0,7 g VSS/g BOD5 removed
- *Endogenous Respiration Coefficient (Kd)* = 0,06 – 0,10 g VSS/gVSS.d
- *Coefficient k* = 2 – 10 g bsCOD/g VSS.d
- *Coefficient ks* = 0,06 – 0,10 g VSS/g VSS.d

(Sumber : *Metcalf& Eddy, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third edition,1991,hal 585*)

- Rasio VSS/SS = 0,60 – 0,875

(Sumber : Sperling MV, *Biological Wastewater Treatment : Wastewater Characteristic, Treatment and Disposal*, page 21)

- MLVSS ( $X_v$ ) = 1500 – 3000 mg/L
- MLSS ( $X$ ) = 1200 – 4000 mg/L
- Rasio Resiskulasi ( $R$ ) = 0,25 – 0,5
- Safety Factor = 1,75 – 2,5

(Sumber: Metcalf& Eddy, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Third edition, 1991, hal 686)

- Tinggi bak = 1 – 4 m
- Suhu *activity coefficient activated sludge* ( $\theta$ ) = 1,02 – 1,25

Rumus Perhitungan

- Perhitungan  $X_r$

$$SVI = \frac{\text{Volume} \times 1000 \text{ mg/l}}{MLSS}$$

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

- BOD teremoval =  $C_o \times \% \text{ teremoval}$

- BOD lolos ( $C_r$ )

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

- Rasio Resirkulasi

$$R = \frac{X_v}{X_r - X_v}$$

- Debit Resirkulasi ( $Q_r$ ) : mengikuti data yang direncanakan menggunakan 2 bak

$$Q_r = Q_o \times R$$

- Debit yang masuk ke bak Activated Sludge

$$Q_a = Q_o + Q_r$$

- Konsentrasi BOD dalam Bak Activated Sludge ( $C_a$ )

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

- Volume Bak Activated Sludge ( $V$ )

$$V = \frac{Q_a \times \theta_c \times Y \times (C_a - C_r)}{(Q + Q_r)}$$

- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (Y obs)

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

- Massa Lumpur Aktif

$$P_x = Y_{obs} \times Q_a \times (C_a - C_r)$$

- Kontrol F/M Ratio

$$F/M = \frac{Q_{Influen} \times C_a}{Vol \times X}$$

### Kriteria Desain Bak Pengendap 2 :

#### Zona Settling

- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam
- Diameter bak = 10 – 200 ft  $\approx$  3 – 60 m
- *Over rate average flow* = 600 – 800 gal/ft<sup>2</sup>.hari = 24  
– 32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari
- *Weir loading rate (WLR)* = 125 – 500 m<sup>3</sup>/hari
- *Flight travel speed* = 0,02 – 0,05 m/min
- *Peak flow rate* = 1200 – 1700 gal/ft<sup>2</sup>.hari  
= 48,84 – 69,19 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*, hal 398. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- Kedalaman bangunan (H) = 3,5 – 6 m (Metcalf & Eddy)  
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*, hal 687. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)
- MLSS = 4000 - 12000 mg/liter  
(Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*)

- Diameter *inlet well* = 15 – 20% Diameter bak  
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, hal 401. New York: McGraw-Hill Companies, Inc*)
- Specific gravity solids = 1,3
- Slope dasar = 3 / 4 - 2 in/ft  
= 62,5 – 166,7 mm/min

### Rumus Perhitungan

#### **Zona Settling**

- Debit Clarifier

$$\text{MLVSS yang dibuang} = \frac{P \times \text{MLVSS}}{\text{Berat jenis lumpur}}$$

- Q in Clarifier = (Q<sub>o</sub> + Q<sub>r</sub>) – MLVSS yang dibuang

- MLVSS yang dibuang =  $\frac{Q_{in}}{\text{Over Flowrate}}$

- Diameter bak (Dbak) =  $\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$

- Kecepatan horizontal di bak (v<sub>h</sub>)

$$F/M = \frac{Q_{In}}{\pi \times D \times H}$$

- Headloss pada zona settling (H<sub>f</sub>)

$$S = \frac{n \times V_h}{R^{2/3}}$$

- Cek aliran

$$Nre = \frac{D \times V_s}{\text{Viskositas}}$$

- Cek bilangan Froude Nfr =  $\frac{V_h}{\sqrt{g \times h}}$

#### **Zona Thickening**

- Total massa solid dalam bak aerasi

$$\text{Massa solid total} = \text{MLVSS bak aerasi} \times \text{Volume bak aerasi}$$

- Total massa solid dalam BP 2

$$P = \% \text{ biological yang tetap dalam bak aerasi}$$

Massa solid = P x total massa pada bak aerasi

- Volume zona *thickening*

V = total massa pada *clarifier* : Xr

- Dimensi zona *thickening*

Luas permukaan atas (A)

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

Luas permukaan bawah (A')

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

- Kedalaman total

Htotal = Hsettling + Hthickening

### Zona Sludge

- Berat jenis solid (sg)

sg = (60% x sg volatile solid) + (40% x sg fixed solid)

- Berat jenis sludge (si)

si = (5% x 1,78 g/cm<sup>3</sup>) + (95% x 1 g/cm<sup>3</sup>)

- Removal total (output sludge di AS)

CnBOD = Co - (Co x (100% - 90%))

- Berat solid

Berat solid = removal BOD x Q

- Volume solid

$$V_{solid} = \frac{\text{Berat solid}}{\text{Berat jenis solid}}$$

- Berat air

Berat air =  $\frac{95\%}{5\%} \times \text{berat solid}$

- Volume air

$$V_{air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat jenis air}}$$

- Volume sludge

Vsludge = Vsolid + Vair

### Zona Outlet

- Panjang tiap weir

$$L = \pi \times D_{bak}$$

- Jumlah v-notch

$$n = \frac{L_{weir}}{\text{Jarak antar weir} + \text{lebar v notch}}$$

- Debit air yang mengalir tiap V notch

$$Q_{vnotch} = \frac{Q_{bak}}{n}$$

- Panjang basah tiap pelimpah

$$L_i = \frac{2H}{\tan a}$$

- Panjang basah total ( $L_n$ ) =  $n \times L_i$

### 2.2.8 Sludge drying bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

#### **Kriteria desain**

- Waktu pengeringan = 5 – 15 hari
- Tebal sludge cake = 20 – 30 cm
- Tebal pasir = 23 – 30 cm
- Lebar = 6 m
- Panjang = 6 – 30 m
- Slope = 1%
- Kecepatan aliran pipa ( $v$ ) = > 0,75 m/s
- Berat air dalam cake = 60% - 70%
- Kadar air = 60% - 80%
- Kadar solid = 20% - 40%
- Sludge loading rate = 120 – 150 kg/ solid kering/m<sup>2</sup>.tahun

(Sumber: Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse 4th edition, hal 1570-1572. New York: McGraw-Hill Book Company)

#### **Rumus yang digunakan**

- Tebal media = tebal pasir + tebal kerikil
- Volume cake sludge ( $V_i$ )

$$v_i = \frac{Vol\ lumpur \times (1 - P)}{1 - P_i}$$

- Volume sludge drying bed

$$V = V_i \times t_d$$

- Dimensi bed

$$A = \frac{V}{tebal\ cake}$$

$$A = L \times B$$

- Kedalaman total

$$H = \text{Kedalaman cake} + \text{kedalaman media}$$

- Htotal = H + 10% H

- Volume air (Va)

$$Va = \frac{\text{Volume lumpur} - Vi}{\text{jumlah bed}} \times td$$

- Kedalaman total dengan underdrain

$$H = \frac{\text{Volume air}}{A}$$

- H total = H cake + H pasir + H kerikil + H underdrain

- H freeboard = H total + (20% x H total)

- Debit pipa (Q) =  $\frac{Va}{td}$

- Luas permukaan pipa =  $\frac{Q}{v}$

- Diameter pipa (D) =  $\sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$