

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Air Buangan**

Setiap air buangan memiliki karakteristik yang berbeda-beda, termasuk air buangan industri memiliki karakteristik yang berbeda tergantung produk yang dihasilkan. Salah satunya industri gula, memiliki karakteristik buangan yang berbeda dibandingkan industri lainnya. Karakteristik air buangan sangat penting untuk diketahui karena sangat dibutuhkan untuk mengetahui proses pengolahan yang dilakukan. Berikut beberapa jenis karakteristik limbah cair industri gula menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 5 Tahun 2010:

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

BOD merupakan parameter untuk menunjukkan jumlah oksigen terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik (Santoso, 2018). Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik sebenarnya, melainkan hanya mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik tersebut (Wulandari, 2018).

Kandungan BOD yang terdapat dalam air buangan industri gula ini sebesar 500 mg/l. Sedangkan, menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup yang mengatur tentang baku mutu, kandungan BOD yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 60 mg/l.

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

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada di air secara kimiawi (Lumaela et al., 2013). Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen di dalam air (Atima, 2015).

Kandungan COD yang terdapat dalam air buangan industri gula ini sebesar 700 mg/l. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup yang mengatur tentang baku mutu, kandungan COD yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/l.

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

TSS (*Total Suspended Solid*) adalah padatan yang sukar mengendap dalam air limbah seperti pasir, liat, dan bahan organik. TSS dalam jumlah besar jika tidak diolah dapat menyebabkan kekeruhan dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan biota air. TSS yang dihasilkan pada industri gula ini sebesar 400 mg/l. Sedangkan kandungan TSS yang diijinkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup disebutkan sebesar 50 mg/l.

**d. Minyak dan Lemak**

Minyak dan lemak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak di dapatkan di dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. *Gliserid* dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan . Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak ini berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987). Parameter minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian.

Kandungan minyak dan lemak air buangan industri gula ini adalah 50 mg/L. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup yang mengatur tentang baku mutu, kandungan minyak dan lemak yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 5 mg/l.

**e. Sulfida (H<sub>2</sub>S)**

Hidrogen sulfida, H<sub>2</sub>S, adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktifitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam (Sugiharto, 1987). Parameter sulfida dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemurnian sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian dan masakan.

Kandungan sulfida air buangan industri gula ini adalah 5 mg/L. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup yang mengatur tentang baku mutu, kandungan Sulfida yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 0.5 mg/l.

**f. pH (derajat keasaman)**

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air maupun dari air limbah. adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987). Parameter pH dapat ditemukan karena limbah cair industri gula diproses dengan bahan campuran berupa kapur dan diatur derajat keasamannya menjadi basa agar waktu melalui pipa tidak mudah berkarat.

**2.2 Bangunan Pengolah Air Buangan**

**2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)**

Pengolahan *pre-treatment* merupakan proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Adapun tujuan pengolahan ini menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu *pre-treatment* juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi

produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan untuk pre treatment untuk kawasan industri meliputi:

**a. Saluran Pembawa**

Saluran pembawa adalah saluran yang menyalurkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan atau *slope* (m/m).

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. 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 didalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut.

- Luas permukaan (A)

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

Dengan :

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

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

v = Kecepatan 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)

- Kedalaman saluran (H)

$$\mathbf{H = \frac{A}{B}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

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

B = Lebar saluran pembawa (m)

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

- Kedalaman total (Htotal)

$$\mathbf{H_{total} = H + (\% F_b \times H)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

H = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

F<sub>b</sub> = 5 – 30% dari ketinggian

- Cek kecepatan (Vcek)

$$\mathbf{V_{cek} = \frac{Q}{A}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

V = Kecepatan fluida dalam saluran pembawa (m/s)

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

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

- Jari-jari hidrolis (R)

$$\mathbf{R = \frac{B \times H}{B + 2H}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

B = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

H = Lebar saluran pembawa (m)

- *Slope* saluran (S)

$$S = \left( \frac{nv}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

S = Kemiringan saluran (m/m)

n = Koefisien kekasaran manning

V = Kecepatan fluida dalam saluran pembawa (m/s)

R = jari jari hidrolis (m)

- *Headloss* saluran (Hf)

$$Hf = S \times L \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

Hf = *Headloss* saluran (m)

S = *Slope* saluran (m/m)

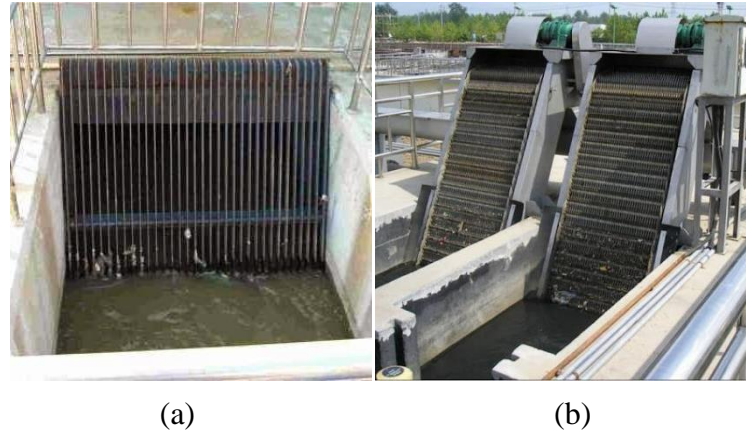
L = Panjang saluran (m)

**b. Screen**

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah screening. Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (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).



**Gambar 2. 1** (a) *Bar Screen* dengan Pembersihan Manual dan (b) Mekanik *Bar Screen*

(Sumber: google.com)

**Tabel 2. 1** Kriteria Perencanaan Coarse Screen

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

(Sumber: *Metchalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hlm 316*)

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Tinggi *Bar Screen*

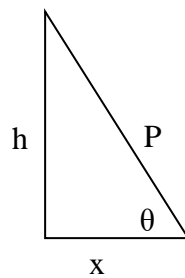
$$\mathbf{H_{sal} = H_{air} + Freeboard} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

Hsal = Tinggi saluran (m)

Hair = Tinggi air (m)

- Dimensi *Bar Screen*



Panjang kisi (P)

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= \frac{h}{\sin \theta} \\ \mathbf{X} &= \mathbf{P \times \cos \theta} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

θ = Sudut kemiringan kisi

h = Tinggi bar screen (m)

x = Jarak kemiringan kisi (m)

- Jumlah kisi (n)

$$\mathbf{Ws = n.d + (n+1)} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

Ws= Lebar saluran (m)

n = Jumlah kisi

d = Lebar kisi (m)



$r$  = Jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi ( $W_c$ )

$$W_c = W_s - n d \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

$W_c$  = Lebar bukaan kisi (m)

$W_s$  = Lebar saluran (m)

$n$  = Jumlah kisi

$d$  = Lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui screen ( $V_i$ )

$$V_i = \frac{Q}{W_c \cdot h} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan:

$V_i$  = Kecepatan yang melalui screen (m/s)

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

$W_c$  = Lebar bukaan kisi (m)

$h$  = Tinggi bar screen (m)

- *Headloss* pada *bar screen*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left( \frac{v_i^2 - v^2}{2 \times g} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan:

$H_f$  = *Headloss* (m)

$c$  = Koefisien saat *non clogging*

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

$v$  = Kecepatan perencanaan (m/s)

## b. Bak Ekualisasi dan Netralisasi

Tujuan proses ekualisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak ekualisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Tujuan proses equalisasi untuk mengolah limbah industri adalah :

1. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah *shock loading* pada proses biologis.
2. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang diisyaratkan untuk proses netralisasi.
3. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
4. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
5. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan bak ekualisasi adalah sebagai berikut:

- Volume bak (V)

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

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

t<sub>d</sub> = Waktu detensi (s)

- Dimensi bak

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman bak (m)

Sedangkan, untuk netralisasi adalah untuk mengatur derajat keasaman air agar menjadi netral (pH 7-8). Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan selanjutnya dapat optimal. Pada sistem ini perlu diusahakan supaya pH berbeda diantara nilai 6 – 9.. Larutan dikatakan asam bila :  $H^+ > H^-$  dan  $pH < 7$  Larutan dikatakan netral bila :  $H^+ = H^-$  dan  $pH = 7$  Larutan dikatakan basa bila :  $H^+ < H^-$  dan  $pH > 7$

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

- Pencampuran limbah.
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- Pencampuran limbah asam dengan *slurry* kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH,  $Na_2CO_3$  atau  $NH_4OH$  ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat ( $H_2SO_4, HCl$ ) dalam limbah basa.
- Penambahan  $CO_2$  bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan  $CO_2$  dalam limbah basa.

Dalam studi kasus pada perancangan ini yaitu air buangan industri bersifat asam yang dimana perlu dilakukan penambahan zat yang bersifat basa. Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2. Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktor titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang 18 dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalen sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif, reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH,  $Na_2CO_3$  atau  $NH_4OH$ .

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

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

### 2.2.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses penghilangan polutan yang dilakukan secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat maupun gas yang tercampur melalui proses fisika.

#### a. Bak Sedimentasi 1

Sedimentasi primer digunakan sebagai langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut dari air limbah. Tujuan pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung dan dengan demikian mengurangi kandungan padatan tersuspensi (Metcalf & Eddy, 2003). Aplikasi teori sedimentasi pada air limbah biasanya dapat disebutkan sebagai bak sedimentasi 1, sedangkan untuk pada air minum dapat disebut sebagai prasedimentasi dengan fungsi yang sama yaitu sebagai pengendapan partikel diskret berlangsung secara individu (masing-masing partikel, diskret) dan tidak terjadi interaksi antar partikel. Partikel diskret adalah partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk, ukuran, maupun berat pada saat mengendap. Pengendapan dapat berlangsung dengan efisien apabila syarat-syaratnya terpenuhi. Pada pengolahan air limbah, sedimentasi umumnya digunakan untuk:

1. Penyisihan grit, pasir, atau *silt* (lanau).
2. Penyisihan padatan tersuspensi pada clarifier pertama.

3. Penyisihan flok / lumpur biologis hasil proses *activated sludge* pada clarifier akhir.

4. Penyisihan humus pada *clarifier* akhir setelah *trickling filter*

Bentuk unit sedimentasi yang umum digunakan adalah rectangular dan circular serta terdiri dari empat zona, yaitu zona *inlet*, zona pengendapan, *outlet*, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah *overflow rate*, kecepatan horizontal (*vh*), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996). Bak pengendap pertama terdiri dari empat ruangan fungsional yaitu:

1. Zona *inlet*

Tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminar).

2. Zona *pengendapan*

Tempat berlangsungnya proses pengendapan/pemisahan partikel-partikel diskrit di dalam air buangan.

3. Zona lumpur

Tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.

4. Zona *outlet*

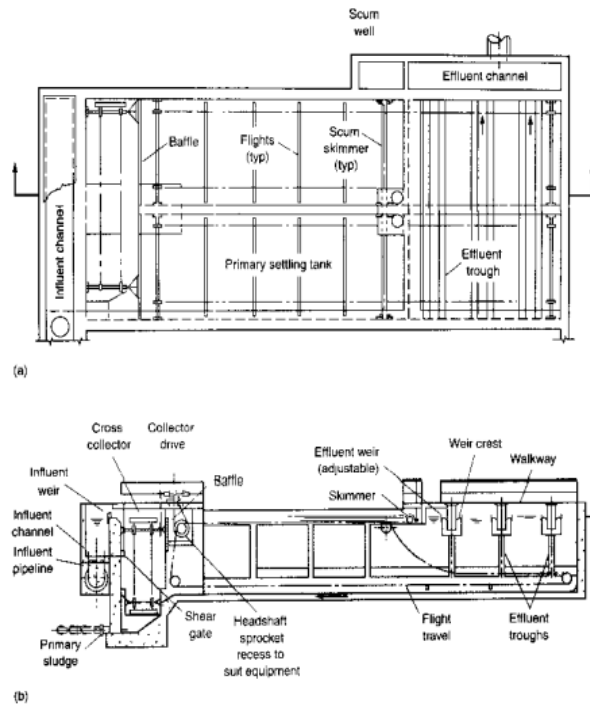
Tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran efluen serta mengatur debit efluen (Qasim et al., 2000).

Adapun bentuk bak sedimentasi yang digunakan salah satunya yaitu

- **Bak Sedimentasi Persegi (*Rectangular Tanks*)**

Bentuk bak ini umumnya digunakan pada instalasi pengolahan air dengankapasitas besar. Bentuk kolam memanjang sesuai arah aliran, sehingga dapatmencegah kemungkinan terjadinya aliran pendek (*short-circuiting*). Bentukini secara hidraulika lebih baik karena tampang alirannya cukup seragamsepanjang kolam pengendapan. Dengan demikian kecepatan alirannya relativekonstan, sehingga tidak akan mengganggu proses pengendapan partikelsuspensi. Selain itu pengontrolan kecepatan aliran juga lebih mudahdilaksanakan. Namun demikian, bentuk ini mempunyai kelemahan kurangnyapanjang peluapan terutama apabila ukurannya kurang lebar, sehingga

lajupeluapan nyata menjadi terlalu besar dan menyebabkan terjadinya gangguan pada bagian akhir kolam pengendapan. Untuk mengatasi hal tersebut, makaambang peluapan harus diperpanjang, misalnya dengan menambahkan kisikisi saluran peluapan di depan outlet.



**Gambar 2. 2** (a) Denah Bak Sedimentasi dan (b) Potongan Bak Sedimentasi I

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak Sedimentasi I adalah sebagai berikut:

➤ **Zona *Settling***

- Luas permukaan zona *settling*

$$A = \frac{Q}{OFR} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

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

OFR = *Over Flow Rate* (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari)

- Kecepatan pengendapan (Vs)

$$Vs = \frac{g}{18} \times \frac{(S_s - 1)d^2}{\nu} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan:

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

$S_s$  = Berat jenis partikel

$d$  = Diameter partikel (m)

$\nu$  = Viskositas kinematis ( $m^2/detik$ )

- Kecepatan aliran ( $vh$ )

$$vh = \frac{L}{td} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:

$L$  = Panjang (m)

$T_d$  = Waktu detensi (detik)

- Bilangan Reynold ( $N_{re}$ )

$$N_{re} = \frac{vh \times R}{\mu} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan:

$V_h$  = Kecepatan aliran (m/s)

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

$\mu$  = Viskositas absolut (m/s)

- Bilangan Froude ( $N_{fr}$ )

$$N_{fr} = \frac{vh^2}{g \times R} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan:

$V_h$  = Kecepatan aliran (m/s)

$R$  = Jari-jari hidrolis (m)

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

➤ **Zona Inlet**

- Luas Permukaan saluran

$$A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan:

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

v = Kecepatan aliran (m/s)

- Slope saluran

$$S = \left( \frac{nv}{R^2} \right)^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan:

n = Koefisien *manning*

v = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari-jari hidrolis (m)

➤ **Zona Outlet**

- Tinggi Peluapan melalui v-notch

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2xg} x \tan \frac{\theta}{2} x H^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan:

Q = Kapasitas tiap bak (m<sup>3</sup>/s)

Cd = Koefisien *drag*

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

H = Tinggi air diatas saluran pelimpah (m)

- Saluran pengumpul

$$Q = 1,84 x B x h^{3/2} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan:

Q = Kapasitas tiap bak (m<sup>3</sup>/s)

B = Lebar pelimpah/gutter (m)

H = Kedalaman gutter (m)

➤ **Zona Sludge**

- Ruang lumpur berbentuk limas terpancung

$$V = \frac{1}{3} x t x (A_1 + A_2 + (A_1 x A_2)^{1/2}) \dots\dots\dots(2.25)$$



Dengan:

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

$t$  = Tinggi ruang lumpur (m)

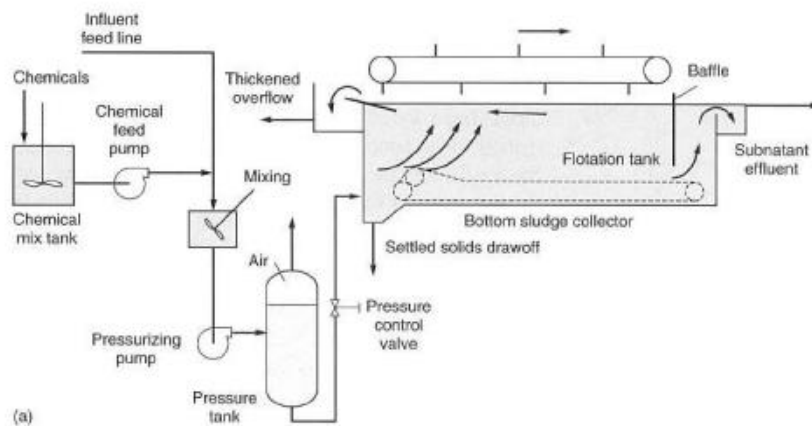
$A_1$  = Luas atas ( $m^2$ )

$A_2$  = Luas bawah ( $m^2$ )

**b. Dissolved Air Flotation (DAF)**

Pada sistem DAF, udara dilarutkan di dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang halus (30-120 mikron). Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif.

Mekanisme pemisahan antara minyak dan lumpur dengan air limbah bisa berlangsung secara fisik, yaitu tanpa penggunaan bahan untuk membantu percepatan flotasi, hal ini bisa terjadi karena partikel-partikel suspensi yang terdapat dalam air limbah akan mengalami tekanan ke atas sehingga mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih rendah dibanding berat jenis air limbah.



**Gambar 2. 3** Skema *Dissolved Air Flotation* (DAF)

(Sumber: google.com)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak DAF adalah sebagai berikut:

- Tekanan Udara (P)

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 \cdot s_a(f \cdot P - 1)}{S_a} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan:

A/S = Perbandingan udara dengan padatan, 0.005 – 0.06 (mL udara/mg padatan)

s<sub>a</sub> = Kelarutan udara (mL/L)

P = Tekanan (atm)

S<sub>a</sub> = Influent minyak dan lemak (mg/L)

- Luas permukaan bak (A)

$$A = \frac{Q}{SLR} \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:

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

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

SLR = *Surface Loading Rate* (L/m<sup>2</sup>.menit)

- Volume bak flotasi

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan:

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

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

t<sub>d</sub> = Waktu tinggal (s)

- Dimensi bak

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan:

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

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman bak (m)

- Konsentrasi Minyak dan Lemak yang disisihkan

$$\begin{aligned} & \text{Minyak dan Lemak teremoval} \\ & = \% \text{removal} \times \text{Minyak \& Lemak influent} \end{aligned} \dots\dots(2.30)$$

dengan:

Minyak & Lemak teremoval = Jumlah minyak & lemak yang disisihkan (mg/L)

%removal = persen minyak & lemak teremoval (50 – 70%)

Minyak & Lemak influent = Jumlah minyak & lemak masuk (mg/L)

- Daya blower

$$P_w = \frac{W \times R \times T}{29.7 \times n \times e} \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan:

P<sub>w</sub> = Daya blower (kW)

w = Berat aliran udara (m<sup>3</sup>/menit)

W = Berat standar udara (kg/m<sup>3</sup>)

P<sub>1</sub> = Tekanan absolut *outlet* (atm)

P<sub>2</sub> = Tekanan absolut inlet (atm)

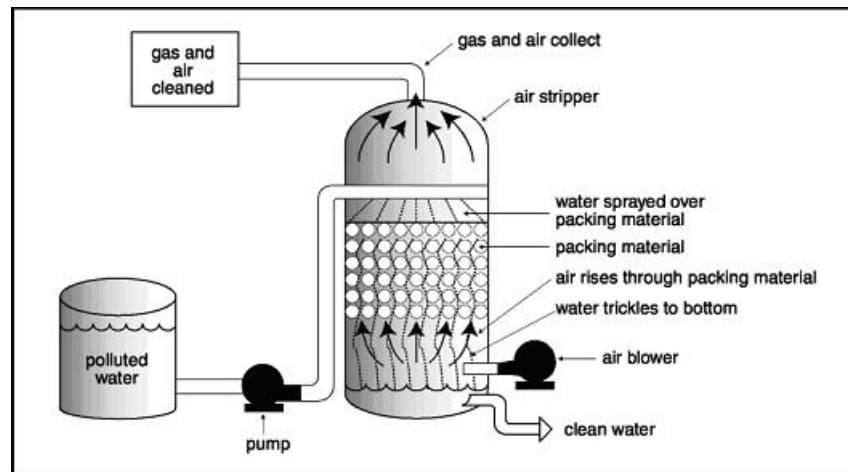
e = efisiensi

**c. Air Stripping**

Air stripping adalah proses pemisahan komponen yang mudah menguap (volatile), bahan kimia dalam suatu cairan dengan cara mengalirkan udara ke dalam cairan. Proses air stripping banyak digunakan dalam bidang teknik kimia terutama untuk memurnikan air tanah atau limbah cair yang mengandung bahan *volatile* (Wikipedia, 2011). Senyawa *volatile* dalam cairan dicirikan dengan tekanan uap yang tinggi dan kelarutan rendah. Hal tersebut digambarkan dalam persamaan tanpa dimensi koefisien hukum Henry (*Henry's law coefficient*). Koefisien tersebut menunjukkan perbandingan antara konsentrasi bahan tertentu (polutan) di udara dengan konsentrasi bahan di dalam air dalam kondisi *equilibrium*. Kombinasi gas

H<sub>2</sub>S dengan asam lemah akan memungkinkan suhu proses stripping dapat diturunkan hingga suhu dibawah 80°C.

Proses stripping digunakan untuk menghilangkan gas-gas yang mudah menguap, seperti hidrogen sulfida, hidrogen sianida dan amonia dengan meniupkan udara melalui air limbah. Oleh karena itu, proses dianggap sebagai transfer dari fase cair ke fase gas. Pada dasarnya prinsip kerja kolom stripper adalah proses penguapan biasa, pada temperatur tertentu fraksi ringan yang temperatur didihnya lebih rendah dari *temperature top* kolom akan menguap dan keluar melalui top kolom. Secara umum untuk membantu penguapan dilakukan dengan injeksi steam atau dengan bantuan alat penukar panas reboiler untuk menaikkan temperatur.



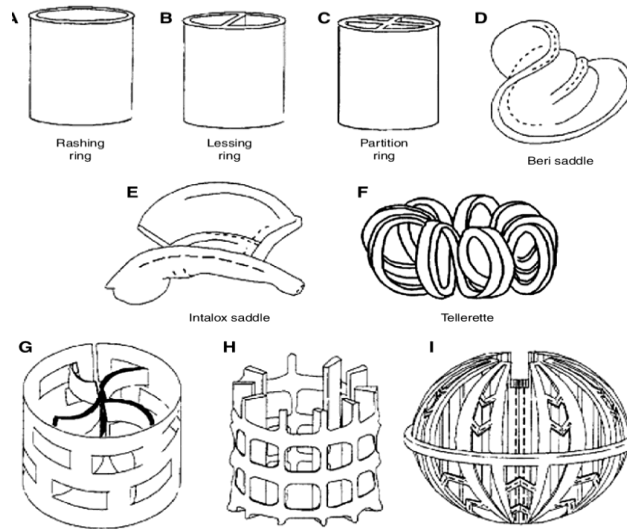
**Gambar 2. 4** Skema *Air Stripping*

(Sumber : Google.com)

Dalam jenis pada perancangan yang dilakukan dengan menggunakan jenis menara *packing*. Menara *packing* adalah menara yang diisi dengan bahan pengisi material. Sistem prosesnya adalah air limbah dari unit sebelumnya dipompa ke bagian atas kolom melalui pipa distribusi agar air dapat tersebar merata diatas permukaan *packing*. Di bagian bawah, penambahan blower udara masuk kemudian bergerak ke atas menempus tumpukan *packing* material yang terdapat dan terjadi kontak permukaan yang luas dengan arah yang berlawanan. Didalam *packing* terjadi kontak antara fase gas dan fase cair akibat tubrukan antara aliran udara yang ke atas dengan aliran limbah yang ke bawah. Selama kontak fase gas dan air terjadi

difusi atau perpindahan bahan organik limbah dari aliran air ke aliran udara. Aliran air keluar dari bagian bawah kolom telah keluar dengan gas sulfida.

Adapun jenis jenis material yang digunakan dalam air stripping yaitu sebagai berikut.



**Gambar 2. 5** Jenis Material *Packing*

(Sumber: [Examples of packing material for air stripping towers \(Hand et al.... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\) \)](#) )

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan *air stripping* adalah sebagai berikut:

- Influen dan effluen fraksi mol sulfida

$$X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan:

$n_A$  = Mol H<sub>2</sub>S

$n_B$  = Mol H<sub>2</sub>O

- Fraksi mol sulfide di dalam effluent udara

$$y_e = \frac{H}{P_T} C_o \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan:

H = Konstanta Henry

$P_T$  = Tekanan total

$C_o$  = Konsentrasi zat terlarut dalam cairan

- Rasio *gas to liquid*

$$\frac{G}{L} = \frac{C_o - C_e}{Y_e} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan:

$C_o$  = konsentrasi influen zat terlarut dalam cairan

$C_e$  = konsentrasi effluen zat terlarut dalam cairan

$y_e$  = fraksi mol sulfida di dalam effluent

- Area *cross-sectional* menara *stripping*

$$S = \frac{G}{L} \times \frac{H}{P_T} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dengan:

G/L = Rasio gas dan *liquid*

H = Konstanta Henry

- Dimensi *air stripping*

$$D = \left[ \frac{\left(\frac{4}{\pi}\right) \times Q \times \rho \times (1 \text{ hari}/86400 \text{ detik})}{(G' + L')} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$HTU = \frac{L}{K_{La} \times A} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$NTU = \left( \frac{S}{S-1} \right) \ln \left[ \frac{\left(\frac{C_o}{C_e}\right)(S-1)+1}{S} \right] \dots\dots\dots(2.38)$$

$$Z = HTU \times NTU \dots\dots\dots(2.39)$$

Dengan:

- D = diameter tower (m)  
Q = debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)  
HTU = ketinggian unit transfer (m)  
NTU = bilangan unit transfer  
Z = ketinggian total menara (m)

### 2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

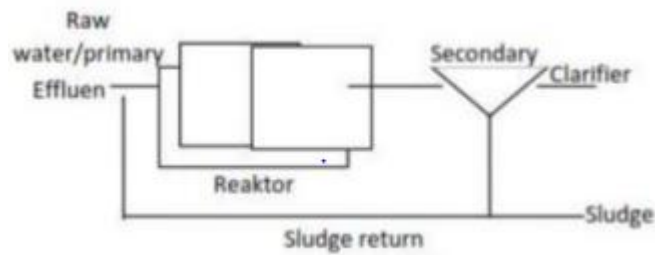
Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Pada pengolahan air buangan industri pengolahan minyak bumi menggunakan sistem aerobik yaitu *activated sludge* karena kandungan biologi pada air buangan industri cukup banyak seperti BOD, COD karena persen removal *activated sludge* cukup besar untuk meremoval kandungan organik.

#### a. *Activated Sludge* (Lumpur Aktif)

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat. Adapun jenis *activated sludge*, yaitu:

##### ➤ **Konvensional**

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



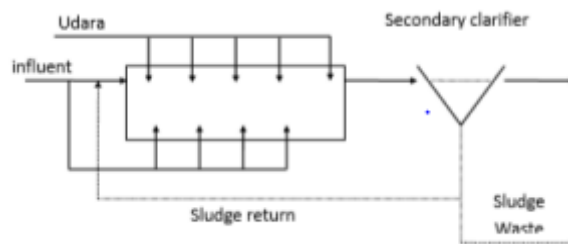
**Gambar 2. 6** Lumpur Aktif Sistem Konvensional

(Sumber : Reynold,427)

➤ **Non Konvensional**

- **Step Aeration**

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



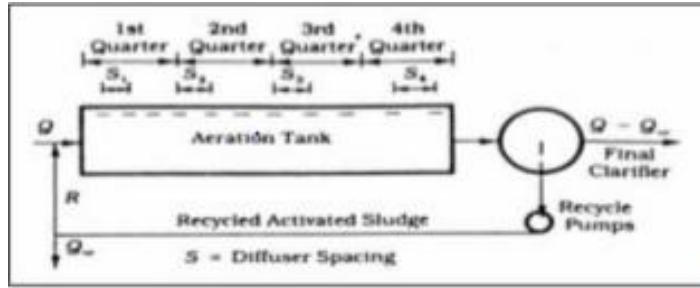
**Gambar 2. 7** Lumpur Aktif Sistem Non Konvensional Step Aerasi

(Sumber : Reynold, 441)

- **Tapared Aeration**

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





**Gambar 2. 8** Lumpur Aktif Sistem *Taperad Aeration*

(Sumber : Reynold, 430)

- **Contact Stabilization**

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu

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



**Gambar 2. 9** Lumpur Aktif Dengan Sistem *Contact Stabilization*

(Sumber: <https://www.americanwatercollege.org/68258-2/>)

Pada perencanaan ini jenis *activated sludge* yang digunakan adalah Konvensional. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

1. Removal polutan

$$\text{BOD}_{\text{ef}} = \text{BOD}_{\text{influent}} - (\% \text{Removal} \times \text{BOD}_{\text{influent}}) \dots\dots\dots(2.40)$$

2. Pencemar organik Berupa Lumpur

$$\text{BOD}_{\text{ss}} = \text{BOD}_{\text{effluent}} \times (\text{MLVSS}/\text{MLSS}) \times \text{fb} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dengan :

VSS/SS = Rasio perbandingan VSS dan SS

F<sub>b</sub> = Fraksi *biodegradable* VSS

3. Bahan organik terlarut (S<sub>r</sub>)

$$\mathbf{BOD_{sr} = BOD_{effluent} - BOD_{ss}} \dots\dots\dots(2.42)$$

4. Efisiensi pengolahan biologi

a. Efisiensi BOD terlarut dalam *Effluent*

$$\mathbf{E\% = \left( \frac{BOD\ influent - BOD\ terlarut}{BOD\ influent} \right) \times 100\%} \dots\dots\dots(2.43)$$

b. Efisiensi BOD terlarut total

$$\mathbf{E\% = \left( \frac{BOD\ influent - BOD\ effluent}{BOD\ influent} \right) \times 100\%} \dots\dots\dots(2.44)$$

5. Debit resirkulasi (Q<sub>r</sub>)

$$\mathbf{Q_r = Q_0 \times R} \dots\dots\dots(2.45)$$

Dengan :

Q<sub>r</sub> = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>0</sub> = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/s)

R = Rasio resirkulasi

6. Debit total bioreaktor

$$\mathbf{Q_{total} = Q_0 + Q_r} \dots\dots\dots(2.45)$$

Dengan :

Q<sub>total</sub> = Debit total bioreaktor (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>0</sub> = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>r</sub> = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

7. Konsentrasi BOD di dalam bioreaktor (Sa)

$$\mathbf{Sa = \frac{(So \times Qo) + (Sr \times Qr)}{(Qo + Qr)}} \dots\dots\dots(2.46)$$

Dengan :

- Sa = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)
- Sr = Konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)
- So = Konsentrasi BOD awal (mg/L)
- Qr = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)
- Qo = Debit air limbah awal (m<sup>3</sup>/s)

8. Volume bioreaktor

$$\mathbf{V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q_{total} \cdot (S_o - S_a)}{X_a \cdot (1 + K_d \cdot F_b \cdot \theta_c)}} \dots\dots\dots(2.47)$$

(Sumber : *Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 21)

Dengan :

- V = Volume bioreaktor
- Y = *Yield coefficient* (g VSS / g BOD<sub>5</sub> removed)
- θ<sub>c</sub> = Umur lumpu (hari)
- Sa = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)
- So = Konsentrasi BOD awal (mg/L)
- Qa = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/s)
- X<sub>a</sub> = MLVSS (mg/L)
- K<sub>d</sub> = Endogenous Respiration Coefficient (g VSS/ g VSS.d)
- F<sub>b</sub> = Biodegradable fraction of VSS

9. Dimensi bak *activated sludge*

$$\mathbf{Volume = L \times B \times H} \dots\dots\dots(2.48)$$

Dengan :

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

- L = Panjang (m)
- B = Lebar (m)
- H = Kedalaman (m)

10. Waktu Tinggal Hidrolis (td)

$$\mathbf{Td = \left[ \frac{L \times B \times H}{Qt_{total}} \right] \times 24} \dots\dots\dots(2.49)$$

Dengan :

- td = Waktu tinggal hidrolis (jam)
- L = panjang bioreaktor (m)
- B = lebar bioreaktor (m)
- H = kedalaman bioreaktor (m)
- Qa = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/s)

11. F/M Ratio

$$\mathbf{F/M = \frac{Sa}{td.Xa}} \dots\dots\dots(2.50)$$

Dengan :

- Sa = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)
- Xa = MLVSS (mg/L)
- td = Waktu tinggal hidrolis (jam)

12. Volumetric Loading (VL)

$$\mathbf{VL = \frac{Sa \times Qt_{total}}{V}} \dots\dots\dots(2.51)$$

Dengan :

- VL = Volumetric Loading (kg.BOD/m<sup>3</sup>.hari)
- Sa = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)
- Qt<sub>total</sub> = Debit total (m<sup>3</sup>/hari)
- V = Volume bioreaktor (m<sup>3</sup>)

13. Konsentrasi resirkulasi lumpur (Xr)

$$\mathbf{Xr} = \frac{X(1+R)}{R} \dots\dots\dots(2.52)$$

Dengan :

Xr = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

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

14. Produksi lumpur setiap hari

a. Koefisien  $\gamma$  *observed* ( $\gamma_{obs}$ )

$$\mathbf{\gamma\ obs} = \frac{y}{1+(kd \times \theta_c)} \dots\dots\dots(2.53)$$

b. Produksi lumpur (P x MLVSS)

$$\mathbf{P_{xMLVSS}} = \frac{y\ obs \times Q_{total} (S_o - S_a)}{1000000} \dots\dots\dots(2.54)$$

c. Produksi lumpur (P x MLSS)

$$\mathbf{Px} = \frac{P \times MLVSS}{VSS/SS} \dots\dots\dots(2.55)$$

Dengan :

$\gamma_{obs}$  = Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

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

Kd = Koefisien *endogeneous* (hari)

$\theta_c$  = Umur lumpur (hari)

Px = Produksi lumpur (kg/hari)

Qtot = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/s)

Sa = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

So = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

VSS/SS = rasio perbandingan VSS dan SS

15. Debit lumpur yang dibuang (Qw)

a. Jika dibuang melalui reaktor

$$\mathbf{Qw} = \frac{V}{\theta_c} \dots\dots\dots(2.56)$$

b. Jika dibuang melalui resirkulasi

$$Q_w = \frac{V \cdot X}{\theta_c \cdot X_r} \dots\dots\dots(2.57)$$

Dengan :

$Q_w$  = Debit yang dibuang ( $m^3/hari$ )

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

$\theta_c$  = Umur lumpur (hari)

$X$  = MLSS (mg/L)

$X_r$  = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

16. Volume lumpur ( $V_L$ )

$$V_L = \frac{P_x}{\gamma \cdot C} \cdot \theta_c \dots\dots\dots(2.58)$$

Dengan :

$V_L$  = Volume lumpur ( $m^3$ )

$P_x$  = Produksi lumpur (kg/hari)

$\gamma$  = Massa jenis lumpur ( $kg/m^3$ )

$C$  = Konsentrasi lumpur

$\theta_c$  = umur lumpur (hari)

17. Dimensi Lumpur

$$\text{Volume} = L \times B \times H \dots\dots\dots(2.59)$$

Dengan :

$L$  = Panjang (m)

$B$  = Lebar (m)

$H$  = Kedalaman (m)

18. Kebutuhan Oksigen

a. Kebutuhan Teoritis

$$\text{Kebutuhan Teoritis} = O_2/S_r \times S_r \dots\dots\dots(2.60)$$

b. Kebutuhan O2 Teoritis

$$\text{Kebutuhan O2 Teoritis} = \text{Kebutuhan Teoritis} \times f \quad (2.61)$$

c. Jumlah kebutuhan udara Teoritis

$$\frac{\text{Kebutuhan O2 Teoritis}}{\text{Berat Standar Udara} \times \% \text{ O2 dalam udara}} \dots\dots\dots(2.62)$$

d. Kebutuhan udara aktual

$$\frac{\text{Jumlah Kebutuhan Udara Teoritis}}{\text{Efisiensi Transfer Oksigen}} \dots\dots\dots(2.63)$$

19. Desain perpipaan *diffuser*

a. Panjang pipa lateral

$$L_L = \frac{\text{Lebar bak Activated Sludge} - \text{Diameter pipa manifold}}{2} \dots\dots(2.64)$$

b. Jumlah pipa lateral pada tiap sisi pipa manifold

$$L_m = n \cdot DL + (n + 1) \cdot rL \dots\dots\dots(2.65)$$

Dengan :

- n = Jumlah pipa lateral
- Lm = Panjang pipa manifold (m)
- DL = Diameter pipa lateral (m)
- rL = Jarak antar pipa lateral (m)

c. Jumlah lubang orifice pada tiap pipa lateral

$$L_L = n \cdot D_o + (n+1) \cdot R_o \dots\dots\dots(2.66)$$

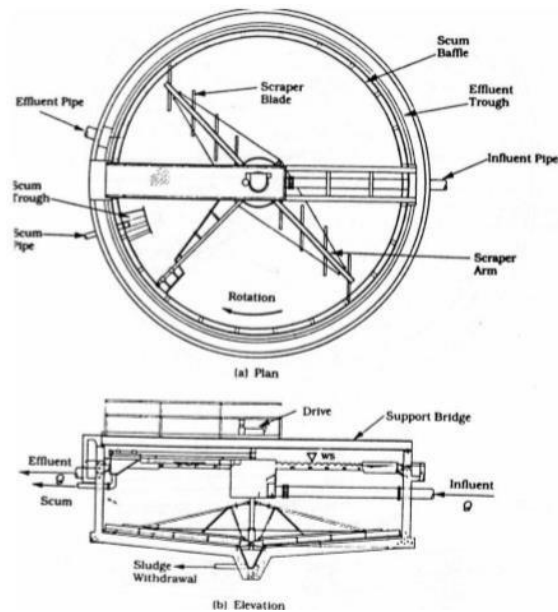
Dengan :

- L<sub>L</sub> = Panjang pipa lateral (m)
- D<sub>o</sub> = Diameter lubang *orifice* (m)
- r<sub>o</sub> = jarak antar lubang *orifice* (m)

#### d. Clarifier

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk *vee* (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing – masing *vee* dan dihilangkan melalui pipa 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 ).



**Gambar 2. 10** Desain *Clarifier*

(Sumber:<https://www.indiamart.com/proddetail/clarifier-system-11853391312.html>)





**Gambar 2. 11** Bak *Clarifier* di Lapangan

(Sumber:<https://www.indiamart.com/proddetail/clarifier-system-11853391312.html>)

Adapun rumus yang akan digunakan pada pengolahan ini adalah:

➤ **Zona *Settling***

1. Debit bak *Clarifier* (Q)

$$\text{MLSSdibuang} = \frac{P \times \text{MLSS}}{\text{berat jenis lumpur}} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$\text{Qin Clarifier} = (Q+Q_r) - \text{MLSS yang dibuang} \dots\dots\dots(2.68)$$

Dengan :

$Q_{in \text{ Clarifier}}$  = Debit masuk pada bak ( $m^3/\text{hari}$ )

$Q_r$  = Debit resirkulasi ( $m^3/\text{hari}$ )

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

2. Luas area *surface* (AS)

$$\text{AS} = \frac{Q}{\text{Over flow rate}} \dots\dots\dots(2.69)$$

Dengan :

AS = Luas area *surface* ( $m^2$ )

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

*Over flow rate* = Volume aliran per luas area ( $m^3/m^2.\text{hari}$ )

3. Diameter bak (D)

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.70)$$

Dengan :

- D = Diamter bak (m)
- AS = Luas area *surface* (m)
- $\pi$  = 3,14

4. Diameter *Inlet Wall* (D')

$$D' = (15\% - 20\%) \times D \dots\dots\dots(2.71)$$

Dengan :

- D = Dimensi bak (m)
- D' = Diameter *inlet wall* (m)

5. Volume bak *Clarifier*

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots(2.72)$$

Dengan :

- V = Volume bak *clarifier* (m<sup>3</sup>)
- Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)
- t<sub>d</sub> = Waktu detensi (detik)

6. Kedalaman zona *settling* (H *Settling*)

$$V = A \times H \dots\dots\dots(2.73)$$

Dengan :

- H = Kedalaman zona *settling* (m)
- V = Volume bak *clarifier* (m<sup>3</sup>)
- A = Luas *area surface* (m<sup>2</sup>)

7. Kecepatan pengendapan (V<sub>s</sub>)

$$V_s = \frac{H}{t_d} \dots\dots\dots(2.74)$$

Dengan :

- V<sub>s</sub> = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)

H = Kedalaman zona *settling* (m)  
 td = Waktu detensi (hari)

8. Diameter partikel (Dp)

$$Dp = \sqrt{\frac{Vs \times 18 \times v}{g(Sg-1)}} \dots\dots\dots(2.75)$$

Dengan :

Dp = Diameter partikel (m)  
 Vs = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)  
 Sg = *Spesific gravity*  
 v = Viskositas kinematis (m<sup>2</sup>/s)

9. Cek Bilangan Nre

$$Nre = \frac{\rho s \times Dp \times vs}{\mu} \dots\dots\dots(2.76)$$

Dengan :

Nre = Bilangan Reynold  
 Dp = Diameter partikel (m)  
 vs = Kecepatan pengendapan (m/s)  
 ρs = Massa jenis partikel (kg/m<sup>2</sup>)  
 μ = Viskositas absolut air (Ns/m<sup>2</sup>)

10. Kecepatan horizontal (Vh)

$$Vh = \frac{Qin}{\pi D H} \dots\dots\dots(2.77)$$

Dengan :

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)  
 Qin = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)  
 D = Diameter bak Clarifier (m)  
 H = Kedalaman bak (m)

11. Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{r \times H}{r + (2H)} \dots\dots\dots(2.78)$$

Dengan :

R = jari-jari hidrolis (m)

r = jari-jari bak *clarifier* (m)

H = kedalaman bak (m)

12. Cek bilangan Reynold (Nre)

$$\mathbf{Nre} = \frac{vh \times R}{\mu} \dots\dots\dots(2.79)$$

Dengan :

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)

R = Jari-jari hidrolis (m)

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

13. Cek bilangan Froude (Nfr)

$$\mathbf{Nfr} = \frac{vh}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots(2.80)$$

Dengan :

Nfr = Bilangan froude

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)

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

H = kedalaman bak (m)

14. Cek penggerusan / kecepatan *scouring*

$$\mathbf{Vsc} = \sqrt{\frac{8k(Sg-1) \times g \times Dp}{\lambda}} \dots\dots\dots(2.81)$$

Dengan :

Vsc = Kecepatan *scouring*

$\lambda$  = Faktor gesekan hidrolis

k = Konstanta kohesi untuk partikel yang saling mengikat  
(0,06)

Dp = Diameter partikel (m)

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

Sg = *Spesific gravity*

➤ Zona *thickening*

1. Total massa solid dalam bak aerasi

$$\text{Massa solid total} = \text{MLVSS} \times \text{Volume} \dots\dots\dots(2.82)$$

2. Total massa solid bak *Clarifier*

$$\text{Massa solid total} = \text{P} \times \text{massa solid total aerasi} \dots\dots(2.83)$$

3. Kedalaman zona *thickening*

$$H = \frac{M_{\text{solid total}}}{X \cdot A} \dots\dots\dots(2.84)$$

Dengan :

M solid total = Massa solid total dalam *clarifier* (kg)

X = MLSS dari bioreaktor AS (mg/L)

A = Luas penampang *clarifier* (m<sup>2</sup>)

➤ Zona *sludge*

1. Total lumpur terkumpul (TL)

$$T_L = P \times t \dots\dots\dots(2.85)$$

Dengan :

TL = Total lumpur yang terkumpul (kg)

Px = Lumpur yang dihasilkan dari bioreaktor AS (kg/hari)

t = Waktu pengurasan (hari)

2. Total berat lumpur pada bak per hari (T<sub>LM</sub>)

$$T_{LM} = T_L + m_{\text{solid total}} \dots\dots\dots(2.86)$$

Dengan :

T<sub>LM</sub> = Total massa lumpur pada *clarifier* (kg)

TL = Total lumpur yang terkumpul (kg)

m<sub>solid total</sub> = Massa solid total dalam *clarifier* (kg)

3. Volume lumpur pada *clarifier*

$$V_L = \frac{TLM}{\rho_s} \dots\dots\dots (2.87)$$

Dengan :

VL = volume lumpur pada clarifier (m<sup>3</sup>)

TLM = total massa lumpur pada clarifier (kg)

ρs = massa jenis solid (kg/m<sup>3</sup>)

4. Debit lumpur

$$Q_L = \frac{VL}{Waktu\ Pengurasan} \dots\dots\dots (2.88)$$

Dengan :

VL = Volume lumpur pada bak per-hari (m<sup>3</sup>/hari)

td = Lama waktu pengurasan (jam)

5. Kedalaman ruang *sludge*

$$V_{\text{ruang lumpur}} = \frac{1}{3} H ((A+B) + \sqrt{AxB}) \dots\dots\dots (2.89)$$

Dengan :

V = Volume ruang lumpur (m<sup>3</sup>)

H = Kedalaman ruang sludge (m)

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

B = Luas permukaan bawah (m<sup>2</sup>)

6. Kedalaman total *clarifier*

$$H_{\text{total}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{sludge}} \dots\dots\dots (2.90)$$

➤ Zona outlet

1. Panjang pelimpah (*weir*)

$$P = \pi \times \text{diameter bak} \dots\dots\dots (2.91)$$

2. Jumlah V notch setiap pelimpah (Weir)

$$n = \frac{\text{Panjang pelimpah weir}}{\text{Jarak antar V notf h}} \dots\dots\dots (2.92)$$

3. Debit *V notch*

$$Q_{Vnotch} = \frac{Q_{in}}{n} \dots\dots\dots(2.93)$$

Dengan :

$Q_v$  = Debit air yang melalui *v notch* ( $m^3/s$ )

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

$n$  = Jumlah *v notch*

4. Tinggi pelimpah setelah melewati *Vnotch*

$$Q_{Vnotch} = \frac{8}{15} \times \sqrt{2 \times g} \times Cd \times tg \frac{8}{2} \times H^{5/2} \dots\dots\dots(2.94)$$

Dengan :

$Q_{v notch}$  = Panjang *weir* ( $m^3/s$ )

$Cd$  = *Coefisien drag*

$H$  = Tinggi pelimpah melalui *Vnotch* (m)

5. Luas permukaan saluran pelimpah

$$A = \frac{Q_{in}}{v} \dots\dots\dots(2.95)$$

Dengan :

$A$  = Luas permukaan saluran pelimpah ( $m^2$ )

$Q_{in}$  = Debit yang masuk ( $m^3/s$ )

$v$  = Kecepatan saluran pelimpah (m/s)

6. Dimensi saluran pelimpah

$$A = B \times H \dots\dots\dots(2.96)$$

$$H = H + (H \times \textit{freeboard}) \dots\dots\dots(2.97)$$

Dengan :

$A$  = Luas permukaan saluran pelimpah ( $m^2$ )

$B$  = Lebar saluran pelimpah (m)

$H$  = Tinggi pelimpah melalui *Vnotch* (m)

*Freeboard* = (15% - 20%) Kedalaman

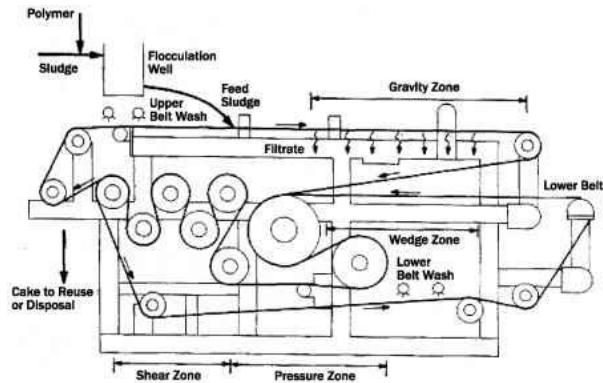
## 2.3 Bangunan Pengolahan Lumpur

### a. *Belt-Filter Press*

Sebagian besar dari jenis *Belt-Filter Press*, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Dibeberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan *vacuum*, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *Scraper blade* Sistem operasi jenis *belt-filter press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (*flokulator*), *beltfilter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung (*compressor*, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt-filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Belt-filter press* ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.





**Gambar 2. 12** Desain *Belt Filter Press*

(Sumber: Google.com)

*Belt-Filter Press* mempunyai ukuran lebar *belt* dari 0.5-3.5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar *belt* antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baja diantara rol.

#### 2.4 Aksesoris Pipa Pada Bangunan

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal membutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris pipa tersebut adalah:

- Membangun jalur belokan
- Membangun jalur percabangan
- Mendukung metode penyambungan
- Menyambung antar pipa

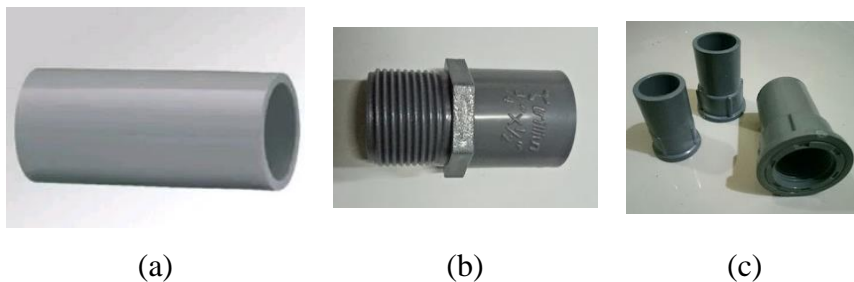
Aksesoris pipa terdiri dari:

##### 1. *Shock Pipa/Socket*

Aksesoris ini digunakan untuk menyambung pipa, tujuannya untuk memperpanjang pipa dengan menyambung lurus satu pipa dengan pipa

lainnya. Aksesoris ini biasa digunakan untuk menyambung pipa dengan diameter yang sama, dengan ulir yang berada di dalam. *Shock* pipa terbagi menjadi beberapa jenis diantaranya adalah:

- *Shock* pipa PVC polos, digunakan untuk menyambung dua pipa PVC yang ujungnya tidak ada ulir atau drat.
- *Shock* pipa drat luar, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat dalam.
- *Shock* pipa drat dalam, pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.

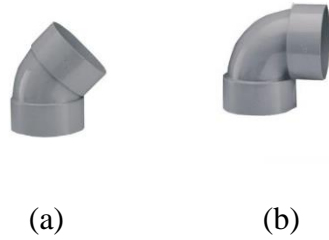


**Gambar 2. 13** (a) *Shock* pipa polos (b) *Shock* pipa drat luar  
(c) *Shock* pipa drat dalam

(Sumber:<https://mengalirjauh.blogspot.com/2019/04/mengenal-jenis-jenis-aksesoris-pipa-pvc.html>)

## 2. *Elbow*

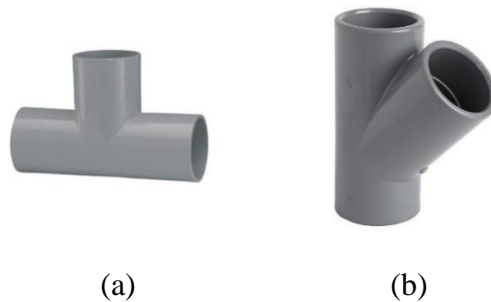
*Elbow* merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (*elbow*). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi , yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45°



**Gambar 2. 14** (a) *Elbow* 45° dan (b) *Elbow* 90°  
(Sumber : <https://www.bhinneka.com/rucika-fitting-jis-elbow-90d-dl-class-d-5-inch-sku3326821514> )

### 3. *Tee*

*Tee* merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris *tee* berbentuk seperti huruf “T” , namun ada beberapa kasus *Tee* berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya *Y-Branch*



**Gambar 2. 14** (a) Pipa Tee bentuk T (b) Pipa Tee bentuk Y (*Y Branch*)

(Sumber : <https://www.bhinneka.com/rucika-y-branch-aw-4-inch-sku3326985056> )

### 4. *Reducer*

Aksesoris ini berfungsi untuk menyambung dua pipa dengan diameter berbeda. Reducer ini terbagi menjadi dua tipe, yakni reducer elbow untuk membelokkan aliran dan reducer socket untuk memperpanjang pipa dengan sambungan lurus.



**Gambar 2. 15 Reducer**

(Sumber : <https://www.bhinneka.com/pralon-plok-sock-reducer-fitting-pvc-34-x-12-inch-sku0013780888> )

5. *Flange*

*Flange* adalah sebuah komponen yang digunakan untuk menyambungkan dua elemen antara pipa dengan *valve*, atau pipa dengan equipment lainnya menjadi satu kesatuan yang utuh dengan menggunakan baut sebagai perekatnya. Tujuan penggunaan flange adalah agar pipa dan *valve* bisa disambungkan dan kelak bisa dilepas untuk memudahkan dalam perbaikan dan penggantian *equipment* tanpa merusak komponen dan peralatan terkait.



**Gambar 2. 16 Flange Pipa**

(Sumber : <https://www.cnzahid.com/2015/08/ilmu-pipa-definisifungsi-dan-jenis.html> )

6. *Dop/plug/cap/clean out*

Banyak istilah untuk menggambarkan benda ini. Namun fungsi mereka sama, yaitu untuk menutup saluran pipa pada ujung pipa yang tidak dihubungkan lagi. Cap adalah penutup yang lebih simpel dari yang lain, Plug adalah penutup yang sangat rapat dengan sistem ulir/drat, clean out adalah penutup yang dapat ditutup dan dibuka sesuka hati. Namun kebanyakan kontraktor memilih untuk menutup ujung pipa dengan kran, agar sewaktu-waktu ujung pipa dapat digunakan dan bermanfaat.



**Gambar 2. 15** *Clean Out*

(Sumber : <https://www.bhinneka.com/rucika-standard-clean-out-d-4-inch-sku3326816567>.)

## 2.5 Persen Removal

Persen removal zat pencemar untuk masing-masing unit diambil berdasarkan literatur, seperti pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.2** Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

Unit	Parameter Teremoval	Range % Removal	Literatur
Netralisasi	pH	6 - 9	Eckenfelder, 2000. Hlm 48
Bak Pengendap 1	BOD	20 - 40%	<i>Wastewater Engineering Treatment, Reuse and recovery, 5th Edition , Metcalf &amp; Eddy, hal 382)</i>
	TSS	50-70%	
	BOD	10-20%	<i>Reynold/Richard, Unit Operations and Process in Environmental Engineering, 2nd edition, hal 158</i>
	TSS	23% - 47%	
Dissolved Air Flotation (DAF)	Minyak dan Lemak	65 - 98%	<i>Qasim, 1999.7.18 Flotation and Foaming hlm. 159</i>
	Minyak dan Lemak	93%	<i>Eckenfelder, 2000. Hlm. 117</i>
	BOD	20-80%	<i>Cavaseno, 1980. Hlm.14</i>
	COD	10-80%	
	TSS	50 - 85%	
Air Stripping	Sulfida	90 - 100%	Droste, hlm 233
<i>Activated Sludge</i>	BOD	85 - 90%	<i>Sperling (2007), Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. hal 13)</i>
	COD	85 - 95%	
	TSS	60 - 99%	<i>Cavaseno , Industrial waste water and solid water engineering , hal 15</i>
Bak Pengendap 2 (Clarifier)	TSS	60 - 80%	<i>Metcalf &amp; Eddy edisi 4, Hlm 497</i>
	BOD	30 - 50%	<i>Huisman (2004), Sedimentation and Flotation, hal 12</i>

	COD	80 - 90%	(Cavaseno , Industrial waste water and solid water engineering , hal 15)
--	-----	----------	--

## 2.6 Profil Hidrolis

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

- 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 :

1. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
2. Tinggi muka air

Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.

- a. 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 air
- d) Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus

- b. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- a) Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- b) Kehilangan tekanan pada perpipaan
- c) Kehilangan tekanan pada aksesoris
- d) Kehilangan tekanan pada pompa

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

- a) Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b) Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.
- c) Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- d) Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air