

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

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan 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. Sulfide (H_2S)

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

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

dengan :

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/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)

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

dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

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 (H_{total})

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

dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

Fb = 5 – 30% ketinggian

- Cek kecepatan

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

dengan:

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/s)

- Jari-jari Hidrolis

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

dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

B = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

H = Lebar saluran pembawa

- Slope Saluran

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

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

$$H_f = S \times L$$

dengan:

H_f = Headloss saluran (m)

S = slope saluran (m/m)

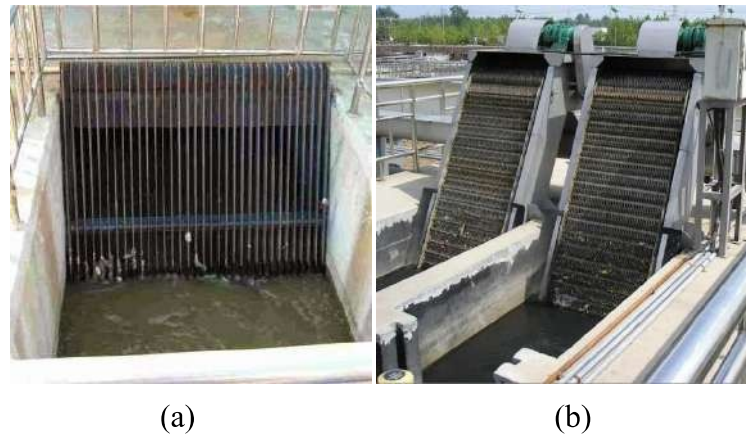
L = panjang saluran (m)

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 Bar Screen dengan pembersihan manual (a) dan mekanik (b)

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: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hlm 316

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

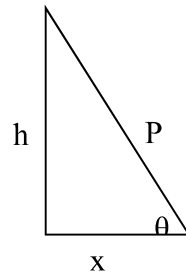
- Tinggi *Bar Screen*

$$H_{sal} = H_{air} + Freeboard$$

dengan:

$$H_{sal} = \text{tinggi saluran (m)}$$

- Dimensi *Bar Screen*



Panjang kisi (P)

$$P = \frac{h}{\sin \theta}$$

$$X = P \times \cos \theta$$

dengan:

θ = sudut kemiringan kisi

h = tinggi *bar screen* (m)

x = jarang kemiringan kisi (m)

- Jumlah kisi

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

dengan:

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

r = jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - n d$$

dengan:

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui screen

$$v_i = \frac{Q}{W_c \cdot h}$$

dengan:

v_i = kecepatan yang melalui *screen* (m/s)

Q = debit limbah (m³/s)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = tinggi *bar screen* (m)

- *Headloss* pada *bar screen*

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

dengan:

H_f = *Headloss* (m)

c = Koef. Saat *non Clogging*

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

v = kecepatan perencanaan (m/s)

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). 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 (v_h), 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.

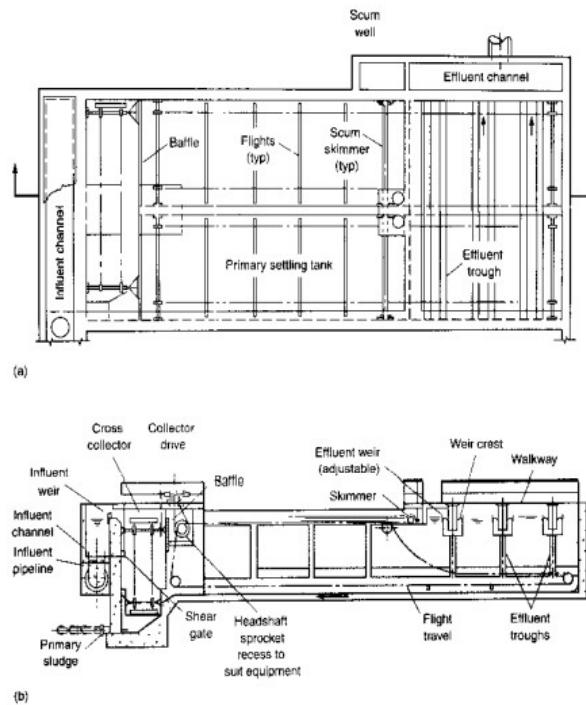
4. Zona Outlet

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

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 gangguanpada bagian akhir kolam pengendapan. Untuk mengatasi hal tersebut, makaambang peluapan harus

diperpanjang, misalnya dengan menambahkan kisikisi saluran peluapan di depan *outlet*.



Gambar 2.2 Bak Sedimentasi I (a) Denah (b) Potongan
(Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak Sedimentasi 1 adalah sebagai berikut:

Zona Settling

- Luas permukaan zona settling

$$A = \frac{Q}{\text{OFR}}$$

dengan:

Q = debit air limbah (m³/s)

OFR = *Over Flow Rate* (m³/m².hari)

- Kecepatan pengendapan

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

dengan:

g = percepatan gravitasi (m/s²)

S_s = berat jenis partikel

d = diameter partikel (m)
 ν = viskositas kinematis (m^2/detik)

- Kecepatan aliran (v_h)

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

dengan:

L = panjang (m)
 td = waktu detensi (detik)

- Bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{v_h \times R}{\mu}$$

dengan:

v_h = kecepatan aliran (m/s)
 R = jari-jari hidrolis (m)
 μ = viskositas absolut (m/s)

- Bilangan Froude (Nfr)

$$Nfr = \frac{v_h^2}{g \times R}$$

dengan:

v_h = kecepatan aliran (m/s)
 R = jari-jari hidrolis (m)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Zona Inlet

- Luas Permukaan saluran

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

dengan:

Q = debit (m^3/s)
 v = kecepatan aliran (m/s)

- Slope saluran

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

dengan:

- n = koefisien Manning
- v = kecepatan aliran (m/s)
- R = jari-jari hidrolis (m)

Zona Outlet

- Tinggi Peluapan melalui v-notch

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

dengan:

- Q = kapasitas tiap bak (m³/s)
- Cd = koefisien drag
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- H = tinggi air diatas saluran pelimpah (m)

- Saluran pengumpul

$$Q = 1.84 x B x h^{3/2}$$

dengan:

- Q = kapasitas tiap bak (m³/s)
- B = lebar pelimpah/gutter (m)
- H = kedalaman gutter (m)

Zona Sludge

Ruang lumpur berbentuk limas terpancung

$$V = 1/3 x t x (A1 + A2 + (A1 x A2)^{1/2})$$

dengan:

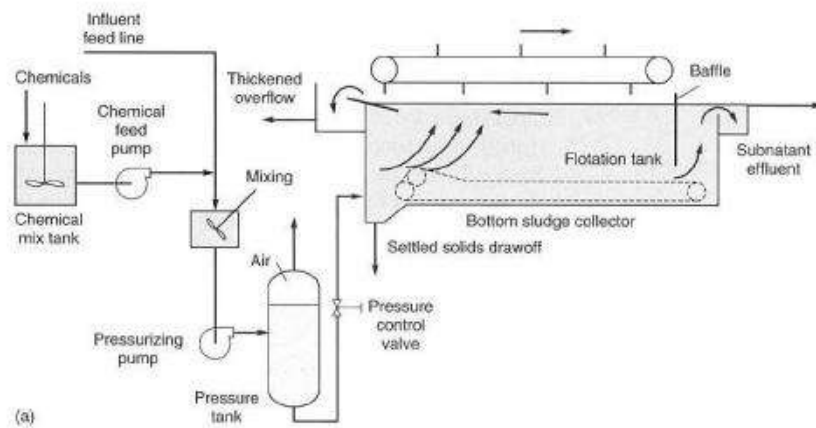
- V = volume ruang lumpur (m³)
- t = tinggi ruang lumpur (m)
- A1 = luas atas (m²)
- A2 = luas bawah (m²)

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 DAF

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak DAF adalah sebagai berikut:

- Tekanan Udara (P)

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

dengan:

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

s_a = kelarutan udara (mL/L)

P = tekanan (atm)

S_a = Influent minyak dan lemak (mg/L)

- Luas permukaan bak

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

dengan:

A = Luas permukaan bak (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

SLR= Surface Loading Rate (L/m².menit)

- Volume Bak Flotasi

$$V = Q \times t_d$$

dengan:

V = volume bak (m³)

Q = debit limbah (m³/s)

t_d = waktu tinggal (s)

- Dimensi bak

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

dengan:

V = volume bak (m³)

L = panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

- Konsentrasi Minyak dan Lemak yang disisihkan

$$\text{Minyak\&Lemak teremoval} = \% \text{removal} \times \text{Minyak\&Lemak influent}$$

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

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

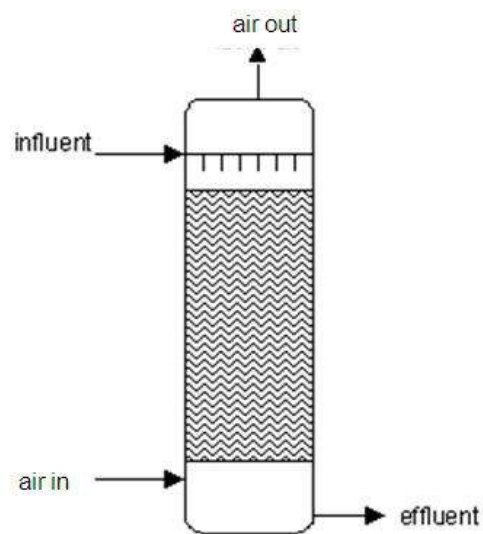
dengan:

P_w = Daya blower (kW)

- w = Berat aliran udara (m³/menit)
- W = Berat standar udara (kg/m³)
- P1 = Tekanan absolut outlet (atm)
- P2 = Tekanan absolut inlet (atm)
- e = efisiensi

c. Air Stripping

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

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan Air Stripping adalah sebagai berikut:

- Influen dan effluent fraksi mol sulfide

$$X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

dengan:

$$n_A = \text{mol H}_2\text{S}$$

$$n_B = \text{mol H}_2\text{O}$$

- Fraksi mol sulfide di dalam effluent udara

$$y_e = \frac{H}{P_T} C_o$$

dengan:

H = konstanta Henry

P_T = tekanan total

C_o = konsentrasi zat terlarut dalam cairan

- Rasio gas to liquid

$$\frac{G}{L} = \frac{C_o - C_e}{Y_e}$$

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*

$$S = \frac{G}{L} \times \frac{H}{P_T}$$

dengan:

G/L = rasio gas dan liquid

H = Konstanta Henry

- Dimensi *air stripping*

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

$$\text{HTU} = \frac{L}{K_{La} \times A}$$

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

$$Z = \text{HTU} \times \text{NTU}$$

dengan:

$$D = \text{diameter tower (m)}$$

Q	= debit air limbah (m ³ /hari)
HTU	= ketinggian unit transfer (m)
NTU	= bilangan unit transfer
Z	= ketinggian total menara (m)

d. Bak Ekualisasi

Tujuan proses equalisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak equalisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Equalisasi 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

$$V = Q \times t_d$$

dengan:

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

$$t_d = \text{waktu detensi (s)}$$

- Dimensi bak

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

dengan:

L = panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

2.2.3. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan kedua umumnya mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya (Sugiharto, 1987).

a. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*

Pada prinsipnya reaktor UASB terdiri dari lumpur padat yang berbentuk butiran. Lumpur atau sludge tersebut ditempatkan dalam suatu reaktor yang didesain dengan aliran ke atas. Air limbah mengalir melalui dasar bak secara merata dan mengalir secara vertikal, sedangkan butiran sludge akan tetap berada atau tertahan dalam reaktor.

Karakteristik pengendapan butiran sludge dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan upflow yang harus dipelihara dalam reaktor. Biasanya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0,5 – 0,3 m/jam. Untuk mencapai formasi sludge blanket yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (debit puncak) kecepatan dapat mencapai antara 2 – 6 m/jam.

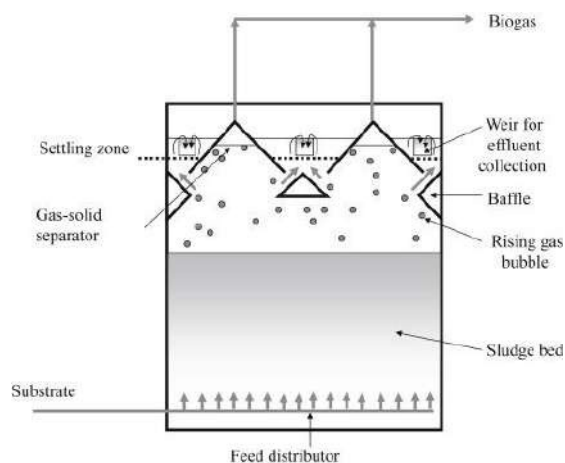
Gas yang terperangkap dalam butiran sludge sering mendorong sludge tersebut ke bagian atas reaktor, yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran sludge di luar reaktor dan kemudian dikembalikan lagi ke dalam reaktor. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat gas-solid-liquid separator yang ditempatkan di bagian atas reaktor. Gas yang terbentuk dapat ditampung dalam separator tersebut dan sludge dikembalikan lagi ke reaktor.

Masalah yang dihadapi pada UASB terutama adalah sludge yang bergerak naik yang disebabkan oleh turunnya densitas sludge. Disamping itu juga turunnya aktivitas spesifik butiran. Beragamnya densitas sludge memberikan ketidak seragaman sludge blanket sehingga sebagai akibatnya sludge akan ikut keluar reactor.

Tingginya konsentrasi suspended solid dan fatty mineral dalam air limbah juga merupakan masalah operasi yang serius. Suspended solid dapat menyebabkan penyumbatan (clogging) atau channeling. Adsorpsi suspended solid pada sludge juga akan mempengaruhi proses dan air limbah yang mengandung protein atau lemak menyebabkan pembentukan busa.

Keuntungan dari bangunan UASB adalah :

- Kebutuhan energi rendah
- Biogas berguna
- Kebutuhan nutrien sedikit
- Sludge mudah diolah/dikeringkan
- Tidak mengeluarkan bau dan kebisingan
- Mempunyai kemampuan terhadap fluktuasi dan intermitten load



Gambar 2.5 Skema UASB

Rumus yang digunakan dalam perhitungan reaktor UASB adalah sebagai berikut:

- Volume reaktor

$$V = \frac{Q \times S_o}{OLR}$$

dengan:

Q = debit tiap reaktor (m³/s)

S_o = konsentrasi COD influent (kg/m³)

OLR = *Organic Loading Rate* (kg COD/ m³.hari)

- *Hydraulic Retention Time*

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

dengan:

HRT = *Hydraulic Retention Time* (s)

V = volume reaktor (m³)

Q = Debit (m³/s)

- Dimensi reaktor

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

dengan:

A = Luas permukaan reaktor (m²)

V = volume reaktor (m³)

H = tinggi reaktor (m)

- Solid Retention Time

$$X_{VSS}(V) = \frac{Q(YH)(S_o - S)(SRT)[1 + f_d bH(SRT)]}{1 + bH(SRT)} + (nbVSS)(Q)(SRT)$$

dengan:

SRT = *Solid Retention Time* (hari)

YH = *Synthesis Yield* (g VSS/g COD)

S_o - S = removal COD

f_d = 0.1 g VSS cell debris/ g VSS biomass decay

b_h = *Decay Coefficient* (g/g.hari)

- Produksi Lumpur Perhari

$$P_{X, \text{vss}} = \frac{X_{\text{vss}}(V)}{SRT}$$

dengan:

$P_{X, \text{vss}}$ = produksi lumpur per hari (kg VSS/hari)

- Kelebihan lumpur

$$P_{X, \text{vss}} = Q(X_e) + Q_w(X)$$

dengan:

X_e = VSS effluent (mg/L)

X = konsentrasi lumpur (kg VSS/m³)

Q_w = debit lumpur (m³/hari)

- Produksi gas metan

$$P_{X, \text{bio}} = P_{X, \text{vss}} - nbVSS(Q)$$

dengan:

$P_{X, \text{bio}}$ = produksi biogas (g VSS/ hari)

Produksi Gas Metan pada suhu 0⁰C

$$= \text{CH}_4 \text{ COD} \times 0.35 \text{ l/g COD} \times 1 \text{ m}^3/10^3 \text{ liter}$$

Produksi Gas Metan pada Suhu 30⁰C

$$= \text{Produksi Gas Metan pada suhu } 0^0\text{C} \times \frac{(273.15+30)^{\circ}\text{C}}{273.15^{\circ}\text{C}}$$

Energi gas Metan = Produksi Gas Metan pada suhu 0⁰C x 38846 kJ/m³

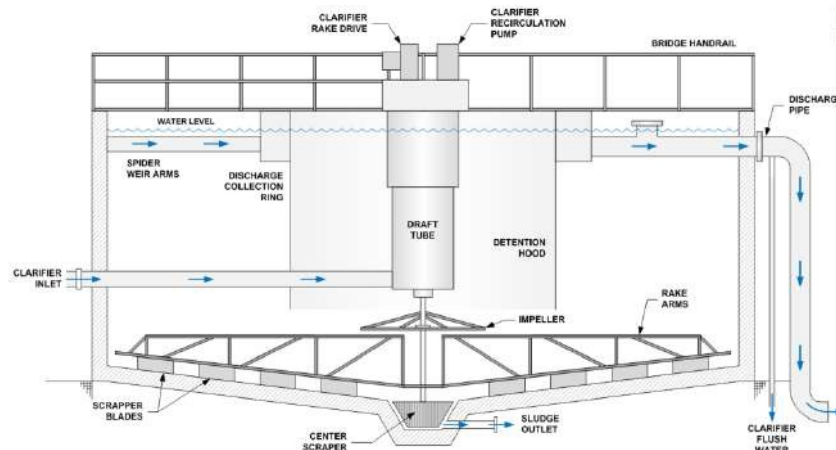
b. Clarifier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan

ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk *vee* (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing-masing *vee* dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat 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 2.6 Skema *Clarifier*

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

Zona Settling

- Luas Permukaan (A)

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

dengan:

Q = debit limbah (m³/s)

OFR = *Over Flow Rate* (m³/m².hari)

- Diameter bak pengendap (D)

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

dengan:

A = luas permukaan bak (m²)

- Diameter *inlet well*

$$d_{\text{in well}} = 20\% \times D$$

dengan:

D = diameter bak (m)

- Volume bak pengendap

$$V = Q \times t_d$$

dengan:

t_d = waktu detensi (s)

- Kecepatan pengendapan

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

dengan:

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H = kedalaman bak (m)

t_d = waktu detensi (s)

- Diameter partikel

$$d_p = \sqrt{\frac{v_s \times 18 \times v}{g (S_g - 1)}}$$

dengan:

d_p = diameter partikel (m)

v = viskositas kinematik (m²/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

S_g = *specific gravity*

Zona Sludge

- Total Lumpur

$$T_L = P_x \times \text{waktu pengurasan}$$

dengan:

T_L = Total lumpur (kg)

P_x = MLVSS (kg/hari)

- Volume lumpur

$$V_L = \frac{T_L}{\rho_s}$$

dengan:

ρ_s = massa jenis *sludge* (kg/m³)

Zona Outlet

- Panjang weir

$P = \pi \times \text{diameter bak}$

dengan:

P = panjang weir (m)

- Jumlah V-notch tiap pelimpah

$$n = \frac{\text{panjang keliling weir}}{\text{jarak antar v-notch}}$$

- Debit v-notch

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{Q_{in}}{n}$$

dengan:

Q_{in} = debit limbah masuk (m³/s)

n = jumlah v-notch

- Tinggi air melalui v-notch

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

dengan:

$Q_{v\text{-notch}}$ = debit v-notch (m³/s)

Cd = *Coefficient of Discharge*

H = Tinggi air melalui v-notch (m)

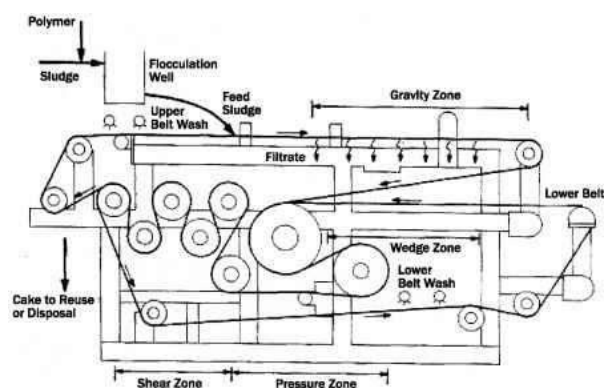
2.3. Bangunan Pengolahan Lumpur

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 pergeseran 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 2.7 Belt Filter Press

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

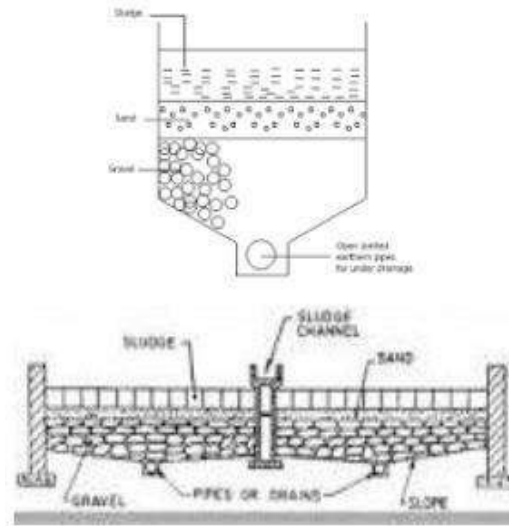
dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar *belt* antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.

b. Sludge Drying Bed

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

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

pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed. (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.8 Sludge Drying Bed

Pipa inlet pada bangunan sludge drying bed harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran sludge dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi sludge drying bed guna mengurangi kecepatan alir saat sludge memasuki bangunan pengering. (Metcalf & Eddy, 2003)

Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah sludge mengering. Sludge / lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam sludge / lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila sludge / lumpur telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan. (Metcalf & Eddy, 2003)

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk

dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. (Metcalf & Eddy, 2003). Data tipikal untuk variasi sludge / lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini.

Tabel 2.2 Kebutuhan Luas Lahan Tipikal untuk Reaktor *Sludge Drying Bed* Terbuka dengan Berbagai Macam Solid

Tipe <i>Biosolid</i>	Luas Lahan*		Sludge Loading Rate	
	ft ² /person	km ² /person	lb lumpur kering/ft ² .tahun	kg lumpur kering/m ² .tahun
<i>Primary Digested</i>	1-1,5	0,1	25-30	120-150
Humus <i>Trickling Filter</i>	1,25-1,75	0,12-0,16	18-25	90-120
Lumpur <i>Activated Sludge</i>	1,75-2,5	0,16-0,23	12-20	60-100
Lumpur Presipitasi Kimia	2-2,5	0,19-0,23	20-33	100-160

*Berdasarkan kebutuhan luas lahan untuk memenuhi variasi antara 70-75% *Sludge Drying Bed* terbuka.

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003)

2.4. Persen Removal

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

Tabel 2.2 Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

Unit Bangunan	Parameter yang Teremoval	Range % Removal	Literatur
Bak Sedimentasi 1	TSS	50 – 70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering ; Treatment and Reuse 4th Edition , hal 396
Dissolved Air Flotation	Minyak dan Lemak	65 – 98%	Qasim, hlm 159
Air Stripping	Sulfida	90 – 100%	Droste, hlm 233
UASB	BOD	85 – 95%	Sumber: Sperling 2007, Biological
	COD	83 – 90%	

	TSS	85 – 95%	Wastewater Treatment Series, Vol 5 hal 13
--	-----	----------	---

2.5. Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolik 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