

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Tahu**

##### **2.1.1 Derajat Keasaman (pH)**

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).

##### **2.1.2 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)**

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah parameter kimia yang digunakan untuk memperkirakan jumlah bahan organik terlarut dan menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik dalam air. Air limbah dari industri tahu banyak mengandung bahan organik terlarut. Kandungan BOD yang lebih tinggi menunjukkan lebih banyak senyawa organik dalam limbah, sehingga mikroorganisme membutuhkan lebih banyak oksigen untuk menguraikan bahan organik. Nilai BOD yang rendah menunjukkan adanya degradasi sampah organik oleh mikroorganisme (Amadea, 2018).

*Biological Oxygen Demand* atau Kebutuhan oksigen biologis adalah suatu parameter kimia untuk mengetahui kualitas perairan. Nilai BOD penting sebagai indikator kualitas perairan. Tingginya kandungan BOD dalam perairan menandakan kurangnya oksigen terlarut didalamnya. Kondisi tersebut memiliki dampak yaitu kematian organisme perairan seperti ikan dikarenakan kekurangan oksigen terlarut (*anoxia*) (Salmin, 2005).

Kandungan BOD pada perencanaan kali ini adalah sebesar 2247 mg/L yang dimana standar aku mutu yang mengatur besar kandungan COD untuk dibuang ke

badan air adalah sebesar 300 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014)

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

Chemical Oxygen Demand merupakan jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi dari BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi apabila banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya teroksidasi secara kimia. Zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel. Zat anorganik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2004).

COD adalah kebutuhan oksigen yang digunakan dalam proses oksidasi kimia. COD juga disebut sebagai *Chemical Oxygen Demand*, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator untuk mengoksidasi semua bahan organik dan anorganik di dalam air. Jika konsentrasi senyawa organik dan anorganik cukup tinggi maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga organisme perairan tidak dapat bertahan hidup (Amadea, 2018). Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi dengan proses mikrobiologis mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen dalam air.

Kandungan COD pada perencanaan kali ini adalah sebesar 4550 mg/L yang dimana standar aku mutu yang mengatur besar kandungan COD untuk dibuang ke badan air adalah sebesar 150 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014)

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

TSS (*Total Suspended Solid*) adalah senyawa padat tersuspensi yang berada dalam air. Padatan tersebut berasal dari mineral, seperti silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil uraian jasad makhluk hidup. Selain itu, juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-

lainnya. TSS ini menyebabkan kekeruhan atau perubahan warna dalam air (Said,2017).

Total Suspended Solid (TSS) merupakan Sebagian dari total solid yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan. Pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiber glass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58 µm (Metcalf & Eddy, 2004).

Limbah cair dari industri tahu mengandung zat tersuspensi yaitu zat yang mengapung dan tidak larut dalam air. Zat tersuspensi erat hubungannya dengan derajat kekeruhan air. Kekeruhan air disebabkan oleh limbah industri tahu yang mengandung zat organik dan anorganik tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi konsentrasi zat tersuspensi, semakin keruh airnya (Amadea, 2018).

Kandungan TSS pada perencanaan kali ini adalah sebesar 1400 mg/L yang dimana standar baku mutu yang mengatur besar kandungan COD untuk dibuang ke badan air adalah sebesar 200 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014)

## **2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan**

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut (Sugiharto, 1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

### **a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)**

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah- sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit

operasinya ke bangunan pengolahan air limbah.

b. Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan

c. Pengolahan Kedua (Secondary Treatment)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobic maupun anaerobic.

d. Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

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.

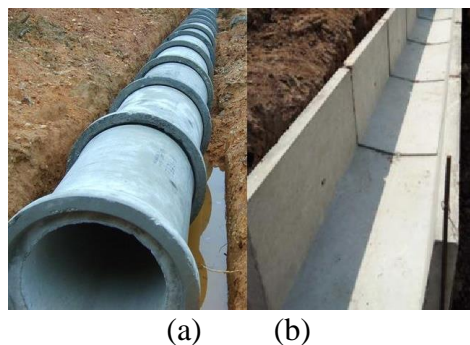
e. Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab menimbulkan bau; bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.; hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah mereduksi lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Adapun bangunan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair di kawasan industri, antara lain:

### 2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah unit yang berfungsi untuk mendistribusikan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Saluran pembawa memiliki 2 jenis yaitu saluran terbuka dan tertutup (pipa). Saluran terbuka biasanya terbuat dari beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran. Perencanaan saluran pembawa selalu memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Jenis-jenis saluran pembawa seperti pada gambar 2.1



**Gambar 2. 1** (a) Saluran Tertutup (b) Saluran Terbuka

Sumber : [area-tekniksipil.blogspot.com](http://area-tekniksipil.blogspot.com)

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

Adapun kriteria perencanaan saluran terbuka yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Freeboard = 5 % - 30%

b. Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0.3 – 0.6 m/s

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

c. Koefisien Manning ( $n$ ) = 0,013

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2015, tabel 4.2 harga koefisien manning ( $n$ ), hal 113)

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

- Luas Permukaan ( $A$ )

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

Keterangan:

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

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

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

- Diameter pipa ( $D$ )

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

Keterangan:

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

$D$  = diameter pipa ( $m$ )

$\pi$  = phi dengan besar 3,14

- Headloss saluran pembawa

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

Keterangan:

$H_f$  = kehilangan tekanan pipa ( $m$ )

$n$  = koefisien kekasaran manning

$R$  = jari – jari hidrolis ( $m$ )

$L$  = panjang pipa ( $m$ )

- Slope

$$S = \frac{H_f}{L}$$

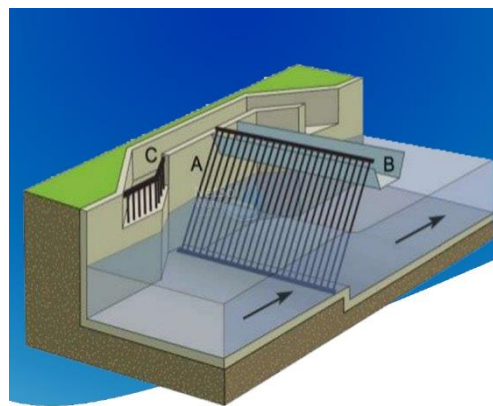
Keterangan:

S = kemiringan pipa (m/m)

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

L = Panjang pipa (m)

### 2.2.2 Screen



**Gambar 2. 2** Bar Screen

Sumber : netsolwater.com

*Screening* atau saringan biasa dilakukan pertama dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, fungsi screening adalah untuk memisahkan berbagai benda yang ada pada air limbah yang dapat menyebabkan kerusakan pada unit sistem pompa, pemisah lumpur, dan pipa apabila tidak dipisahkan. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah serius terhadap pemeliharaan dan operasional peralatan (Said, 2017).

Prinsip *screening* adalah menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan kerusakan alat pada alat pengolahan, mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan, adanya kontaminasi pada aliran air (Metcalf & Eddy, 2004).

Unit penyaringan atau *bar screen* memiliki tujuan untuk menahan sampah dan benda padat yang berukuran besar (seperti: plastik, kain, kayu, dan kerikil) yang masuk bersama lumpur tinja. Unit ini terdiri dari rangkaian batang dan/ atau

pelat berlubang (*perforated plate*), serta bukaannya dapat berbentuk lingkaran, persegi panjang, dan persegi (Qasim & Zhu, 2017). Berdasarkan jarak antar batang (bar/kisi), unit penyaringan dibagi menjadi 3 jenis yaitu saringan kasar (terdiri atas manual *bar screen* dan mekanikal *bar screen*), saringan halus (terdiri atas *static wedgewire*, *step*, *traveling band*, dan *drum*) dan saringan mikro. Saringan halus (*fine screen*) memiliki jarak antar kisi 0,5–6 mm, saringan kasar (*coarse screen*) memiliki jarak antar kisi 6–75 mm, dan saringan mikro (*microscreen*) memiliki jarak antar kisi <0,5 (Metcalf & Eddy, 2004). Dalam pengolahan lumpur tinja di Indonesia, jenis *screen* yang banyak digunakan yaitu jenis saringan kasar dengan tipe *manual bar screen*. Kelebihan dan kekurangan unit *manual bar screen* dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Kelebihan dan Kekurangan *Manual Bar Screen*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah dioperasikan;</li> <li>• Tidak membutuhkan operator dengan keahlian khusus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat menimbulkan bau dan mengundang lalat akibat sampah yang tertahan pada penyaring;</li> <li>• Pembersihan harus dilakukan secara manual dan berkala.</li> </ul>

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018))

Unit *manual bar screen* dapat digunakan pada instalasi pengolahan dengan debit influen relatif kecil maupun besar. Cara kerja unit ini yaitu lumpur tinja yang masuk dari unit inlet akan melewati unit *manual bar screen* yang umumnya terdiri dari kisi atau batang yang disusun berjajar untuk masuk ke unit pengolahan selanjutnya. Sampah-sampah berukuran besar yang ada dalam lumpur tinja akan tertahan pada *bar screen*, kemudian akan dilakukan pembersihan karena jika dibiarkan menumpuk dalam unit tersebut, maka menyebabkan tersumbat dan mengganggu proses. Pembersihan *manual bar screen* dilaksanakan memakai sikat besi dengan gigi-gigi yang disesuaikan dengan jarak antar bar (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018).



Pada teknologi ini tidak terdapat persen removal pada parameter tertentu. Untuk kriteria desain unit manual bar screen dapat dilihat pada tabel dibawah

**Tabel 2. 2** Kriteria desain bar screen

Parameter	Satuan	Nilai
Kecepatan aliran lewat bukaan, v	m/detik	0,3 - 0,6
Lebar kisi, d	mm	4 – 8
Jarak antar kisi, r	mm	25 – 75
Kemiringan horizontal,	derajat	45 – 60
Headloss non- <i>clogging</i> , $h_L$	Mm	150
Headloss saat <i>clogging</i> , $h_L$	Mm	800

Sumber: Qasim & Zhu (2017:7-8)

Berdasarkan (Qasim & Zhu, 2017), untuk menghitung desain unit *manual bar screen* dilakukan tahap sebagai berikut:

**Lebar screen:**  $n_{bukaan} \times r + n_{kisi} \times d$

Dengan:  $L_{screen}$  = Lebar *screen* (m)

$n_{bukaan}$  = Jumlah bukaan (buah)

r = Jarak antar kisi (m)

$n_{kisi}$  = Jumlah kisi/bar,  $n_{bukaan} - 1$  (buah)

d = Lebar kisi (m)

**Dimensi bar screen:**  $X = \frac{H}{\sin \theta}$

$$L = \frac{H}{\text{tg } \theta}$$

Dengan: X = Panjang kisi (m)

L = Panjang *screen* (m)

H = Tinggi total *screen* (m)

= Kemiringan horizontal (derajat)

**Kecepatan melalui kisi:**  $v_2 = \frac{Q}{n_{bukaan} \times r \times h_{aliran}}$

Dengan:  $v_2$  = Kecepatan setelah melalui kisi (m/detik)  
 $Q$  = Debit ( $m^3/detik$ )  
 $h_{aliran}$  = Tinggi kedalaman air (m)

**Headloss saat non-clogging dan clogging:**

$$h_L = \beta \times \left(\frac{W}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times h_v \times \sin\theta$$

$$h_L = \frac{1}{C_d} \times \frac{(v_2)^2 \times (v)^2}{2 \times g}$$

Dengan:  $h_L$  = Headloss (m)  
 $\beta$  = Nilai faktor tipe batang  
 $W$  = total lebar kisi,  $n_{kisi} \times d$  (m)  
 $b$  = total lebar bukaan,  $n_{bukaan} \times r$  (m)  
 $h_v$  = head kecepatan aliran masuk *screen*, (m)  
 $C_d$  = Koefisien *discharge* (saat non-clogging = 0,7 & saat clogging = 0,6)  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/detik}^2$ )

### 2.2.3 Bak Penampung



**Gambar 2. 3** Bak Penampung

Sumber: tanindo.net

Bak penampung merupakan unit penyeimbang dimana debit dan kualitas limbah yang akan menuju unit selanjutnya harus sudah dalam kondisi konstan. Bak penampung akan menampung sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Bak penampung dimanfaatkan ketika ada pembersihan atau perbaikan unit yang membutuhkan waktu lama atau mengharuskan proses pengolahan

limbah dihentikan, maka limbah dari industri dapat disimpan pada bak penampung.

Pada perancangan ini digunakan bak Penampung, adapun kriteria perancangan dan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Kriteria Perencanaan :

- a. *Freeboard* = 5% - 30 %
- b. *Waktu Detensi* = > 2 jam
- c. *Kedalaman* = ≤ 4 meter

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

Rumus yang digunakan :

- a. Volume bak penampung

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan :

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

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

$T_d$  = waktu detensi (s)

- b. Dimensi Bak

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

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

$$L = 2 \times W$$

Keterangan :

H = Kedalaman bak control (m)

$$f_b = 20\% \times H$$

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

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

- c. Luas Bak Penampung

$$A = L \times W$$

Keterangan :

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

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

#### 2.2.4 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan unit pengolahan yang bertujuan untuk meminimalkan atau mengendalikan fluktuasi karakteristik air limbah agar dapat memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya (Eckenfelder, 2001).

Selain itu, bak ekualisasi dapat digunakan untuk mengatasi masalah operasional yang disebabkan oleh variasi debit, yang nanti akan tercapai debit yang konstan dalam sejumlah situasi yang berbeda (Metcalf & Eddy, 2004). Dalam prosesnya, bak ekualisasi dibantu dengan *mixing* atau aerasi, biasanya dilakukan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang mengendap pada dasar bak. Beberapa metode yang telah digunakan untuk *mixing* atau aerasi meliputi: distribusi aliran masuk dan penyekat/*baffle*, *mixing* turbin, *diffused air aeration*, *mechanical aeration*, mixer terendam (Eckenfelder, 2001).

Untuk kelebihan dan kekurangan unit bak ekualisasi dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 3** Kelebihan dan kekurangan bak ekualisasi

<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Efisiensi pengolahan akan meningkat juga konsentrasi dan debit influen yang merata;</li><li>• Menyamakan nilai pH sehingga mengurangi kebutuhan bahan kimia (bila menggunakan bahan kimia pada proses selanjutnya).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menambah kebutuhan lahan;</li><li>• Menambah kebutuhan biaya pengadaan, operasi, dan pemeliharaan;</li><li>• Berpotensi menimbulkan bau</li></ul>

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Agar mencegah terbentuknya padatan tersuspensi dalam dasar bak serta untuk meningkatkan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) dan mengurangi beban organik, dalam proses pemerataan konsentrasi lumpur tinja, bak ekualisasi dibantu menggunakan *baffle* pada titik influen, turbin, aerasi dengan diffuser atau aerator dengan waktu tinggal di dalam bak atau *hydraulic retention time* (HRT) yaitu 4-8 jam (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Dalam unit bak ekualisasi, tidak terdapat persen removal untuk parameter tertentu.

Untuk kriteria desain unit bak ekualisasi dapat dilihat pada tabel berikut

**Tabel 2. 4** Kriteria Desain Bak Ekualisasi

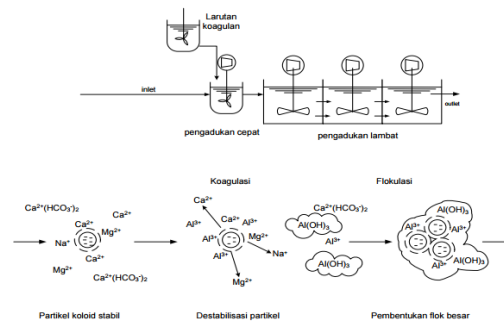
Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman air minimum, $H_{min}$	Meter	1,5 - 2
Kemiringan, Slope	-	3:1 - 2:1
<i>Hydraulic retention time</i> , HRT	Jam	4 - 8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk air limbah dengan konsentrasi padatan tersuspensi <math>\geq 210</math> mg/l, diperlukan pengaduk 0,004-0,008 kW/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Untuk menjaga kondisi aerobik, dibutuhkan suplai udara 0,01-0,015 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Menit</li> </ul>		

Sumber: Metcalf & Eddy (2014:251-252); Said (2008:240)

### 2.2.5 Kogulasi Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berkelanjutan dengan bentuk pencampuran koagulan hingga proses pembentukan flok yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan.(Kawamura, 2000). Fungsi pengadukan sebagai upaya agar koagulan dapat bercampur maksimal dengan air baku. Terdapat dua sistem pengadukan yaitu, pengadukan cepat yang digunakan pada proses koagulasi dan pengadukan lambat yang digunakan pada saat proses flokulasi. Setelah inti flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok

besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.



**Gambar 2. 4** Proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber : <http://chem-envi.blogspot.com/>

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi (Masduqi & Assomadi, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi diantaranya:

- Destabilisasi partikel atau koloid
- Tumbukan Van der waals
- Gradien kecepatan
- Waktu detensi (Td)

Koagulasi (rapid mix) berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia menjadi sama rata dalam bak dan memberikan hubungan yang cukup antara koagulan dengan partikel suspended solid. Diharapkan effluent dari proses koagulan dapat membentuk mikroflok. Tipe pengaduk yang digunakan ada 3 tahap antara lain :

- Pengaduk secara mekanik
- Pengaduk dengan hidrolis atau udara
- Pengaduk dengan pneumatic atau baffle

Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti proses flokulasi. Fungsi dari proses koagulasi untuk memberikan koagulan (aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida) pada air buangan. Sedangkan fungsi dari proses flokulasi

adalah untuk membentuk flok-flok. Perbedaan proses flokulasi dan koagulasi pada kecepatan pengadukannya, proses koagulasi memerlukan yang relatif cepat dibanding proses flokulasi. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , Ferri Klorida, Chlorinated Copperas.

Adapun kriteria perencanaan unit Koagulasi dan Flokulasi adalah sebagai berikut :

Kriteria Perencanaan :

- a. Waktu detensi ( $T_d$ ) = 20 – 60 detik
- b. Gradien kecepatan = 700 – 100/detik

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

- c. Tinggi bak ( $H$ ) = 1-1,25 Diameter bak
- d. Nre Turbulen = >10000

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182-187)

- e. Diameter Impeller ( $D_i$ ) = 50 – 80% diameter atau lebar bak
- f. Lebar paddle ( $W_i$ ) = 1/6 – 1/10m
- g. Kecepatan putaran impeller = 20-150 rpm

(Reynolds, Tom D. Dan Richards c. 2003)

### **2.2.6 Sedimentasi**

*Removal* dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap I ini berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak sedimentasi bentuk Rectangular terbagi menjadi empat zona, yaitu :

- 1) Zona Inlet

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

2) Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor yaitu karakteristik partikel tersuspensi, *Overflow rate*, dan efisiensi bak.

3) Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

Zona lumpur merupakan zona dimana partikel-partikel diskret yang telah mengendap berada. Zona ini memiliki kemiringan tertentu menuju ke hopper yang terletak di bagian bawah inlet. Kemiringan dasar bak Rectangular adalah sebesar 1-2%. Zona lumpur didesain memiliki kemiringan tertentu agar mempermudah pada saat pembersihan lumpur. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

4) Zona Outlet

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



Berikut ini adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk menghitung Bak Sedimentasi pada setiap bagiannya :

1) Zona Settling

Kriteria Perencanaan:

- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam

- Overflow rate (Ofr) = 30 – 50 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>. hari

- Weir Loading = 125 – 500 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>.hari

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

- Specific Gravity Sludge (Sg)= 1,03

- Specific Gravity Solid (Ss) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Treatment and Reuse 4th edition, hal 1456. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- Tebal plate settler = 0,005 m

- Jarak plate settler = 0,05 m

- Kemiringan plate settler = 60°

(Sumber : L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 80)

- Slope = 1-2%

(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 42)

- Bilangan Reynold (Nre) < 2000 (Laminer)

- Bilangan Froude (Nfr) >10<sup>-5</sup>

(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 73)

- Freeboard = 5 – 30 %

(Sumber : Ven Te Chow. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,02 – 0,12

- Faktor fraksi hidrolis ( $\alpha$ ) = 0,03 m

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

Rumus:

- Luas Permukaan (A)

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

- Cek OFR (*over flow rate*)

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

- Kecepatan Horizontal ( $v_h$ )

$$v_h = \frac{Q}{L \times H}$$

- Diameter partikel

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

- Bilangan Reynold

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

- Bilangan Freud

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

- Cek kecepatan penggerusan/*scouring* ( $v_{sc}$ )

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (\rho_{sludge} - \rho_{air}) \times Nfr}{\alpha \times \rho_{air}}}$$

- Slope Bak (s)

$$s = 2\% \times L$$

Keterangan :

s = slope bak (m/m)

L = panjang bak (m)

## 2) Zona Inlet

Rumus :

- Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

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

W = Lebar bak (m)

L = Panjang bak (m)

- Volume zona inlet

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan :

V = Volume bak ( $m^3$ )

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

$T_d$  = Waktu detensi (s)

### 3) Zona Lumpur

#### Kriteria Perencanaan :

- Berat jenis air ( $\rho_w$ ) =  $996,3 \text{ kg/m}^3$
- Berat jenis lumpur ( $\rho_s$ ) =  $2650 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

- Specific solid ( $S_s$ ) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus :

- Parameter yang terendapkan di zona sludge  
= (TSS influent x % removal) + (BOD influent x % removal)
- Lumpur yang dihasilkan/berat lumpur ( $W_s$ )  
= Q limbah x solid yang mengendap
- Berat Air ( $W_w$ ) =  $\frac{\text{Kadar air dalam lumpur}}{\text{Kadar padatan dalam lumpur}} \times \text{berat lumpur}$
- Berat jenis lumpur = (berat jenis SS x 10%) + (berat jenis air x 90%)
- Volume lumpur =  $\frac{\text{Lumpur yang dihasilkan} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur} \times \text{waktu pengurasan}}$
- Volume Zona sludge  
$$V = \frac{1}{3} \times H \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 + A_2})$$
- Debit pipa pengurasan sludge ( $Q_p$ ) =  $\frac{\text{Volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$

### 4) Zona Outlet

#### Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Weir Loading Rate = 125 – 500  $m^3/m.hari$

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

- Koefisien drag ( $C_d$ ) = 0,548
- Sudut V notch = 45

(Sumber: Qasim, dkk., 2000, Water Work Engineering Planning, Design, and Operation)

- Koefisien manning ( $n$ ) = 0,013

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning)

Rumus Gutter dan Weir:

- Debit unit outlet = Q limbah – Q pengurasan sludge

- Panjang total weir ( $L_w$ ) =  $\frac{Q}{WLR}$

- Panjang pelimpah ( $L_p$ ) =  $\frac{L_w}{\text{jumlah pelimpah}}$

- Debit tiap pelimpah ( $Q_p$ ) =  $\frac{Q}{2}$

- Luas saluran pelimpah ( $A$ ) =  $\frac{Q_p}{0,5}$

- Tinggi ( $H_p$ ) dan Lebar ( $W_p$ ) pelimpah

$$H_p = \sqrt{2 \times A}$$

$$W_p = 2 \times H_p$$

- Ketinggian air pada gutter (H air)

$$= \left( \frac{Q}{WP \times 1,38} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- Tinggi gutter (H gutter) = H air + Fb

- Luas basah gutter (A basah gutter) = Lebar gutter x H air

- Slope Gutter (S)

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

- Headloss pada gutter = L weir x S gutter

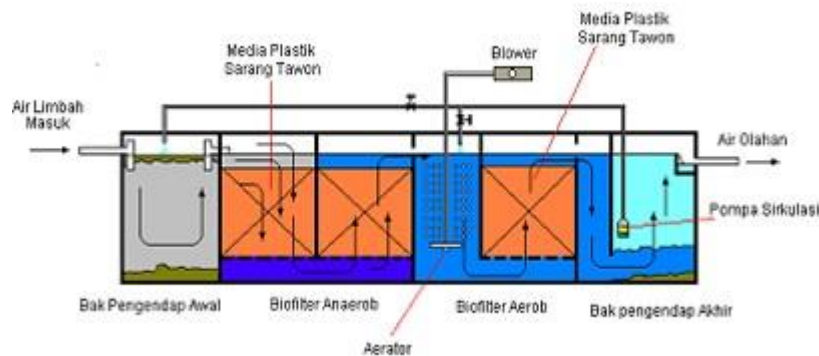
Rumus V notch :

- Jumlah V notch =  $\frac{\text{panjang weir}}{\text{Jarak antar v notch} + \text{lebar v notch}}$

- Debit mengalir tiap v notch =  $\frac{Q}{\text{jumlah } v \text{ notch}}$
- Tinggi peluapan melalui v notch (Hp)

$$Q \text{ v notch} = \frac{8}{15} \times cd \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\alpha}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

### 2.2.7 Biofilter Anaerobic – Aerobic



**Gambar 2. 5** Biofilter Anaerobic-Aerobic

Sumber: bangazul.com

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub>, air, dan amonia. Pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

Pengolahan limbah dengan secara anaerobik dalam aplikasinya menggunakan media biofilter dalam reaktor anaerob. Media biofilter yang digunakan bertujuan untuk tempat melekatnya mikroorganisme sehingga berguna untuk pengembangbiakan mikroorganisme tersebut. Hal ini dikarenakan, pengolahan limbah secara anaerobik merupakan suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik. Dalam proses,

anaerobik ini, yang sangat berperan adalah aktifitas mikroba dalam multi tahap pengolahan limbah secara anaerobik, yaitu tahap hidrolitik, asidifikasi, dan methanasi (Said & Firly, 2005)

Pengolahan air limbah dengan biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke reaktor biologis dimana didalamnya terdapat media penyangga yang berguna dalam pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses biofilter aerobik dilakukan dengan memberikan udara atau oksigen. Dimana posisi media biofilter tercelup dibawah permukaan air. Senyawa polutan yang berada di air limbah seperti senyawa organik, ammonia, fosfor, dan lainnya akan berdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. ada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam 23 lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift pump", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka kemampuan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang besar pula. Karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar,

sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (short pass) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis (Said, 2017).

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter ini antara lain sebagai berikut :

**Tabel 2. 5** Kelebihan dan Kekurangan Sistem Biofilter

<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Membutuhkan waktu picu ( <i>starter time</i> ) yang lebih lama
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), deterjen, amonium, dan fosfor	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan
Pengelolaan, <i>maintenance</i> yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak ( <i>grease</i> )
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	
Dibandingkan dengan unit <i>activated sludge</i> , lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor	

Sumber : (Kaswinarni,2007).

Adapun kriteria perencanaan biofilter anerob dan aerob adalah sebagai berikut :

**Tabel 2. 6** Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerob-Aerob

Parameter	Satuan	Nilai
Beban BOD per satuan permukaan media (LA)	g BOD/m <sup>2</sup> .hari	5-30
Beban BOD per m <sup>3</sup> media	Kg BOD/m <sup>3</sup> .hari	0,5-4
Waktu tinggal total rata-rata	Jam	6-8
Tinggi ruang lumpur	M	0,5
Tinggi bed media pembiakan mikroba	M	1,2
Tinggi air diatas bed media	Cm	20

(Sumber : Said,2017)

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis:

A. Perhitungan Biofilter Anaerobik

- Beban BOD dalam air limbah = Q limbah x BOD inlet
- Volume media yang diperlukan

$$= \frac{\text{Beban BOD didalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

- Volume reaktor yang diperlukan =  $\frac{100}{60} \times \text{Volume media}$

- Waktu tinggal didalam reaktor

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$

- Dimensi reaktor

$$\text{Volume reaktor} = P \times L \times T$$

- Dimensi media

$$V \text{ media} = P \times L \times H$$

- BOD loading per volume media =  $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$



- BOD loading (jika media memiliki luas spesifik 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

$$= \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

- Produksi sludge =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$

- Pipa outlet anaerobik

$$\text{Diameter pipa outlet} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

## B. Perhitungan Biofolter Aerobik

- Beban BOD dalam air limbah = Q limbah x BOD inlet

- Volume media yang diperlukan

$$= \frac{\text{Beban BOD didalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

- Volume reaktor yang diperlukan =  $\frac{100}{60} \times \text{Volume media}$

- Waktu tinggal didalam reaktor

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$$

- Dimensi reaktor

$$\text{Volume reaktor} = P \times L \times T$$

- Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$V \text{ media} = P \times L \times H$$

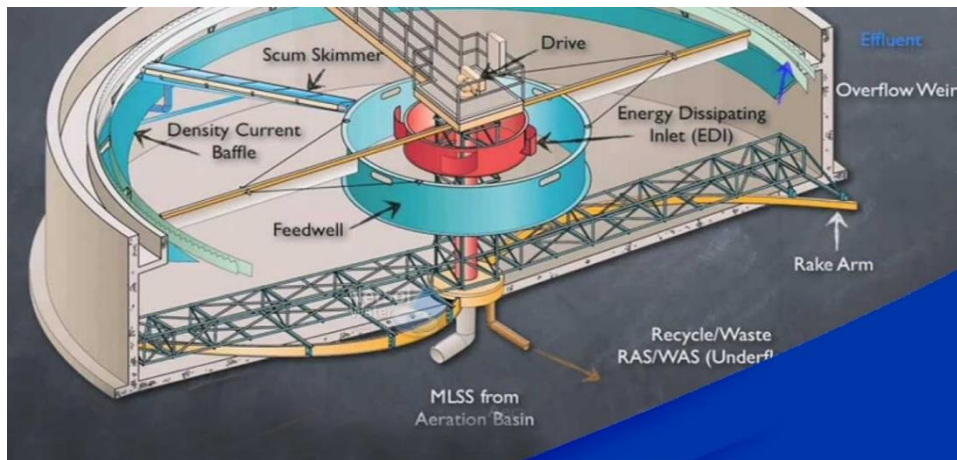
- BOD loading per volume media =  $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media}}$

- BOD loading (jika media memiliki luas spesifik 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

$$= \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

- Produksi sludge =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$

### 2.2.8 Secondary Clarifier



**Gambar 2. 6** Clarifier

Sumber: netsolwater.com

Sedimentasi adalah pemisahan padatan-cairan menggunakan pengendapan gravitasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Bak sedimentasi biasanya dibuat dari beton bertulang dan dapat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau persegi panjang sesuai perencanaan (Reynolds & Richards, 1996)

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung sehingga mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah. Tangki sedimentasi primer yang dirancang dan dioperasikan secara efisien tanpa penambahan bahan kimia dapat menghilangkan 50-70% padatan tersuspensi dan 25-40% BOD. Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: surface loading (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2004).

Clarifier adalah pengolahan lanjutan dari pengolahan terdahulu jika banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah khusus, seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya.

Clafier sama dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Dalam tangki melingkar, pola alirannya radial (berlawanan dengan horizontal). Untuk mencapai pola aliran radial, air limbah yang akan disetel dapat dimasukkan di tengah atau di sekitar pinggiran tangki, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Kedua konfigurasi aliran bisa digunakan, meskipun tipe influent tengah lebih umum, terutama untuk pengolahan primer. Dalam desain influent tengah (lihat Gambar 2.16a), air limbah diangkut ke pusat tangki dalam pipa yang digantungkan dari jembatan, atau dibungkus dengan beton di bawah lantai tangki (Metcalf & Eddy, 2004).

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada unit clarifier antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel ( $v_s$ )

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

- Diameter partikel

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

- Kecepatan horzontal di bak ( $v_h$ )

$$= \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H}$$

### **2.2.9 Sludge Drying Bed**

Unit sludge drying bed (SDB) memiliki fungsi untuk membantu proses pengeringan lumpur dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari (Dian & Herumurti, 2016). Menurut Putri (2015), lumpur dari pengendapan biologis akan diangkut dan diletakkan pada unit SDB yang dilengkapi dengan media pasir dan kerikil sehingga cairan dan padatan akan terpisah. Cairan akan menuju ke saluran bawah dan padatan akan dikeringkan dengan menggunakan cahaya matahari.

Menurut Cofie dkk. (2006), ketebalan media pasir kasar dan halus yang digunakan sebagai media masing-masing adalah 15 cm. Sedangkan untuk media kerikil yang digunakan memiliki ketinggian optimum 25 cm. Dengan desain sedemikian rupa, didapatkan waktu pengeringan lumpur selama 2 minggu dengan ketebalan lumpur 30 cm. Kelebihan dan kekurangan unit SDB dapat dilihat pada tabel 2.7.

**Tabel 2. 7** Kelebihan Kekurangan Unit *Sludge Drying Bed*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudah untuk dioperasikan sehingga tidak membutuhkan operator berkemampuan khusus;</li> <li>• Padatan hasil pengeringan dapat dijadikan campuran bahan pengomposan.</li> <li>• Reduksi volume yang dihasilkan tinggi; dan</li> <li>• Dapat menyisahkan bakteri patogen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luas lahan yang dibutuhkan besar;</li> <li>• Hasil pengeringan tergantung pada kondisi cuaca;</li> <li>• Hanya dapat diaplikasikan pada musim kemarau atau dilengkapi dengan atap pada musim penghujan;</li> <li>• Pembersihan padatan kering dilakukan secara manual atau menggunakan alat khusus; dan</li> <li>• Berpotensi menimbulkan bau.</li> </ul>

Prinsip kerja unit SDB yaitu memanfaatkan penguapan alamiah oleh sinar matahari. SDB dilengkapi dengan media pasir dan kerikil di bagian bawah agar didapatkan supernatan yang kualitasnya lebih baik. Supernatan akan mengalir menuju bada air melalui sistem perpipaan bawah tanah (*underdrain*) (Putra, 2020). Dalam unit SDB tidak menyisahkan parameter apapun. Kriteria desain unit SDB ditunjukkan pada Tabel 2.8.

**Tabel 2. 8** Kriteria Perencanaan *Sludge Drying Bed*

Kriteria	Nilai	Satuan
Waktu pengeringan, HRT	10-15	hari
Tebal lapisan lumpur, $H_{\text{lumpur}}$	30-50	cm
Tebal media pasir, $H_{\text{pasir}}$	20-30	cm
Tebal media kerikil, $H_{\text{kerikil}}$	20-30	cm
Kadar air, P	60	%
Kadar solid, $P_i$	40-50	%
Kecepatan <i>underdrain</i> , v	0,75	m/detik
Kemiringan, S	1	%

Sumber: Metcalf & Eddy (2004)

### 2.3 Persen Removal

Berikut merupakan persen removal dari setiap unit bangunan pengolahan industry tahu yang digunakan sebagai alternatif dapat dilihat pada table berikut.

**Tabel 2. 9** Persen Removal Unit Pengolahan Industri Tahu

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	%Removal	Sumber/Literatur
Bak Sedimentasi Awal	BOD	25-40%	Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4 <sup>th</sup> edition. Hal.497
	TSS	50-70%	
Biofilter Anaerob	COD	87%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.3 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 289.
	BOD	89%	
	TSS	96%	
Biofilter Aerob	COD	86-90%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.3 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 289.
	BOD	85-90%	
	TSS	94-96%	
Secondary Clarifier	BOD	30-50%	Huisman. (2004).Sedimentation and Flotation, Hal. 12.
	TSS	60-80%	

### 2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (*influent-effluent*) 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:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis butuh perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan 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 dihitung secara khusus

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

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; dan
- d. Kehilangan tekanan pada pompa.

3. Tinggi Muka Air

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

4. Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2. 10** Karakteristik Pompa

<b>Klasifikasi Utama</b>	<b>Tipe Pompa</b>	<b>Kegunaan Pompa</b>
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
	Air limbah sebelum diolah	Air limbah sebelum diolah
	Penggunaan lumpur kedua	Penggunaan lumpur kedua
<i>Posite Displacement</i>	<i>Screw</i>	<i>Screw</i>
	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua	