

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah Industri Minyak Sawit**

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Kelapa sawit menghasilkan produk olahan yang mempunyai banyak manfaat (Lubis, 1992). Produk minyak kelapa sawit tersebut digunakan untuk industri penghasil minyak goreng, minyak industri, bahan bakar, industri kosmetik dan farmasi.

Permintaan dunia akan minyak sawit terus meningkat sehingga pasaran ekspornya selalu terbuka lebar dan dapat menghasilkan keuntungan yang besar. Maka dari itu, luas perkebunan sawit akan semakin besar pula sesuai dengan kebutuhan minyak sawit. Luas perkebunan kelapa sawit yang besar akan diiringi dengan volume ekspor yang tinggi pula.

Pertambahan dan peningkatan areal pertanaman kelapa sawit diiringi pertumbuhan jumlah industri pengolahannya menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula. Hal tersebut disebabkan oleh bobot limbah pabrik kelapa sawit yang harus dibuang semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, baik kuantitas sumber daya alam, kualitas sumber daya alam, maupun lingkungan hidup.

Dampak negatif limbah yang dihasilkan dari suatu industri menuntut pabrik agar dapat mengolah limbah dengan cara terpadu. Pemanfaatan limbah menjadi bahan-bahan yang menguntungkan atau mempunyai nilai ekonomi tinggi dilakukan untuk mengurangi dampak negatif bagi lingkungan dan mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan.

Limbah industri pertanian khususnya industri kelapa sawit mempunyai ciri khas berupa kandungan bahan organik yang tinggi. Kandungan bahan organik tersebut dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan kelapa sawit. Limbah industri minyak sawit memungkinkan dimanfaatkan pada lahan perkebunan kelapa sawit untuk menghindari pencemaran lingkungan dan mengatasi kebutuhan pupuk.

#### **2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Minyak Sawit**

Setiap industri memiliki karakteristik air limbah yang berbeda-beda, sesuai dengan kegiatan/proses produksi dan/atau produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Industri

Minyak Sawit yang mempunyai karakteristik limbahnya tersendiri sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Lampiran III Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Minyak Sawit.

Berdasarkan peraturan yang diacu, terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industri minyak sawit yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya pH, BOD, COD, TSS, Minyak/Lemak, dan Nitrogen Total. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik air limbah industri minyak sawit sebagai berikut:

### 2.2.1 pH

pH atau derajat keasaman digunakan sebagai salah satu ukuran tingkat asam atau basa suatu larutan. Konsentrasi ion hidrogen (pH) dapat diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, yaitu sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+]$$

Mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral yaitu berkisar antara 6 hingga 9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) yang tinggi sulit diolah secara biologis sehingga perlu diolah terlebih dahulu melalui unit pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu baik Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 maupun oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 yaitu sebesar 6 sampai 9. Umumnya pada air limbah industri minyak kelapa sawit, pH berkisar antara 3,5 hingga 6 yang berarti limbah cair industri minyak kelapa sawit bersifat asam dan diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai.

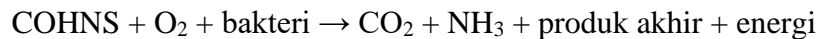
### 2.2.2 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD<sub>5</sub> adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD<sub>5</sub> (Sugiharto, 2008).

Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan

pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

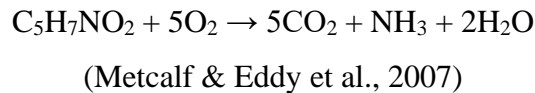
Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



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

*Chemical Oxygen Demand (COD)* atau kebutuhan oksigen kimia adalah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik oleh bahan kimia pengoksidasi kuat dalam larutan asam. Umumnya ada hubungan linear antara COD dan hasil BOD<sub>5</sub>. Hubungan ini tergantung sepenuhnya pada komposisi air limbah (Qasim & Zhu, 2017).

Pengukuran COD dilakukan dengan menambahkan reagen oksidator ke dalam sampel air atau limbah, dan kemudian mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam sampel. Hubungan antara *Chemical Oxygen Demand (COD)* dan *Biological Oxygen Demand (BOD)* adalah bahwa keduanya digunakan untuk mengukur kandungan bahan organik dalam air atau limbah. BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air atau limbah, sedangkan COD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air atau limbah. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD (Metcalf & Eddy et al, 2007).

Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300 mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/L.

#### **2.2.4 Total Suspended Solids (TSS)**

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003). Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam sulfat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

#### **2.2.5 Minyak dan Lemak**

Istilah minyak dan lemak, seperti yang umum digunakan, termasuk lemak, minyak, dan lilin ditemukan dalam air limbah. Istilah lemak dan minyak telah banyak digunakan oleh literatur. Kandungan minyak dan lemak dari air limbah dengan ekstraksi sampel limbah dengan trifluoroethane trikloro (minyak dan lemak yang larut dalam *trifluoroethane trikloro*). Minyak dan lemak secara kimiawi sangat mirip, mereka adalah senyawa ester dari alkohol atau gliserol (gliserin) dengan asam lemak. Asam lemak gliserid yang cair pada suhu normal disebut minyak dan yang padat disebut grease (lemak). Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan permukaan dan membuat lapisan tembus cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk membentuk sebuah lapisan tembus cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in). (Metcalf-Eddy, 2003)

## 2.2.6 Nitrogen Total

Total nitrogen adalah ukuran dari semua bentuk nitrogen yang ditemukan dalam suatu sampel. asam amonia dan protein secara alami terjadi berupa nitrogen organik. Perbandingan nitrogen total dalam asam amino bisa dilakukan dengan metode kjeldahl. Metode kjeldahl merupakan metode yang sederhana untuk penetapan nitroge total pada asam amino, protein dan senyawa yang mengandung nitrogen. sampel akan didestruksi dengan asam sulfat dan dikatalis dengan katalisator yang sesuai sehingga dihasilkan ammonium sulfat. Setelah pembebasan dengan alkali kuat, ammonia yang terbentuk dipindahkan secara kuantitatif ke dalam larutan penyerap dan ditetapkan secara titrasi. Metode ini cocok digunakan secara semi mikro karena jumlah sampel dan pereaksi yang diperlukan sedikit dan waktu analisa pendek.

Analisa kadar nitrogen total dilakukan dengan variasi waktu kontak (0, 1, 2, 3, 4, 5 hari) yang mengacu pada SNI 4146-2013 menggunakan metode kjeldahl secara titrasi. Kadar nitrogen total dihitung melalui perkalian antara konsentrasi HCl, 100%, dan 14,008. Kadar nitrogen total influen dan efluen diukur untuk menentukan efisiensi penyisihannya. Pengurangan kadar nitrogen total tersebut dibandingkan dengan kadar nitrogen total awal untuk menentukan nilai efisiensinya (Chairani et al., 2021).

## 2.3 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, 2008), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan dan satu tahapan lain 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 berutujuan 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 aerobik maupun anaerobik.

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:

### 2.3.1 Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran

pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (slope) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). 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. 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 seperti halnya saluran terbuka.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0,3-2,4m/s
- Kemiringan (slope) maksimal = 1,10-3m/m
- *Freeboard* saluran = 5-30%
- Dimensi saluran direncanakan ( $Ws$ ) =  $B = 2H$
- Kekasaran saluran ( $n$ ) = 0,011-0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008)

**Tabel 2.1** Koefisien  $n$  Manning Untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	$n$ Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

Sumber: (Spellman, F. R., 2013).

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan ( $A$ )

$$A = \frac{Q (m^3/s)}{v (m/s)}$$

Keterangan:

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

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

v = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

Sumber: (Chow, Ven Te, 1959)

- Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A (m^2)}{B (m)}$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

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

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

$$H_{\text{Total}} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), *freeboard* = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (Td)

$$T_d = \frac{Q \text{ total saluran}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)



H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m) B = lebar saluran pembawa (m)

Sumber: (Chow, Ven Te, 1959)

- Slope Saluran (Rumus Manning)

$$S = \left( \frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{2/3}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

n = koefisien manning saluran (m/m)

R = jari – jari hidrolis (m)

A = luas permukaan saluran

- *Headloss* Saluran Pembawa

Hf = Slope x L saluran Keterangan:

Hf = *headloss* saluran (m)

L = panjang saluran (m)

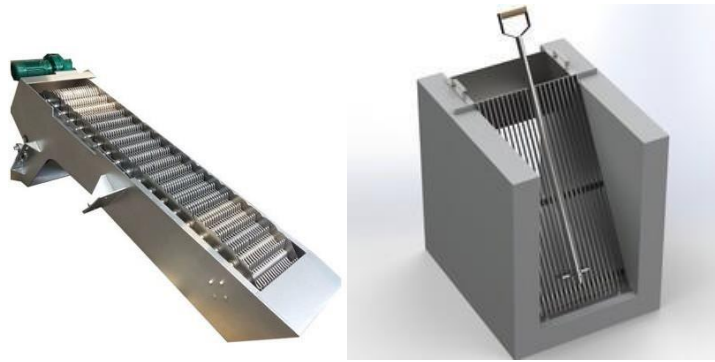
### 2.3.2 *Bar screen*

*Barscreen* digunakan dalam pengolahan air baik air limbah maupun air bersih. *Barscreen* berfungsi untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5 – 1 cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit *screen* dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang disaluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (*inlet*) dengan kemiringan 30° – 45° dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007).

*Screen* digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (Metcalf & Eddy, 2003). Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu:

- 1) Merusak peralatan unit pengolahan berikutnya;
- 2) Mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan
- 3) Mencemari saluran air. Adapun jenis dari *bar screen* adalah *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar).

Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis *bar screen* yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



**Gambar 2.1** a) *Automatic Bar Screen*, b) *Manually Bar Screen*

(Sumber : *Wikipedia.org*)

*Bar screen* umumnya terbuat dari batangan besi atau baja yang dilapisi anti karat, dipasang pada kerangka melintang di dalam saluran air dengan posisi miring ke arah *inlet* air, dengan kemiringan antara  $30^\circ - 45^\circ$  dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Ketebalan batangan biasanya berkisar antara 5 – 15 mm, dengan jarak antar batang sekitar 25 – 50 mm, agar bisa disesuaikan dengan parameter atau limbah yang ingin disaring. Pembuatan dan perhitungan *bar screen* didesain berdasarkan debit pada saat aliran puncak. (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik *coarse screen* adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
<b>Ukuran batang</b>				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 - 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
<b>Parameter lain</b>				
Kemiringan terhadap vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 - 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
<i>headloss</i>	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

Sumber: (Metcalf and Eddy, 2003 Halaman 315- 316)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi *bar screen*  

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{Saluran}} + (fb \times H_{\text{Saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi

Fb = *freeboard*

- Jumlah Batang Kisi (n)  

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (wc)  

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi ( $\gamma$ )  

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)  

$$P = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

$\alpha$  = kemiringan kisi

$\gamma$  = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)  

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

$\alpha$  = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi ( $V_i$ )

$$V_i = \frac{Q}{wc \times h}$$

Keterangan

Q = debit *inlet* air limbah

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- *Headloss* pada *Bar screen* saat non-clogging

$$H_f = \frac{1}{C} \times \left( \frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C merupakan koefisien pada saat non-clogging yaitu 0,7

- *Headloss* pada *Bar screen* saat clogging

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left( \frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C<sub>c</sub> merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6

### 2.3.3 Bak Penampung

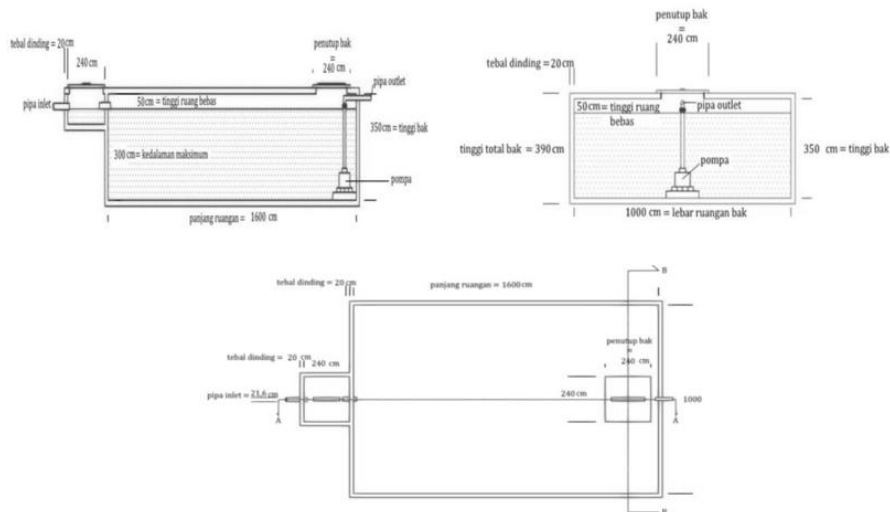
Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (*inlet*) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

- i) pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena *shock loading* rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan;
- ii) kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- iii) kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan);
- iv) dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

- i) memerlukan area/lokasi yang cukup luas;
- ii) mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal;
- iii) memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al., 2007).



**Gambar 2.2** Unit Bak Penampung dan Gambar Penampung  
(Sumber: Effendi, 2003)

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Kementerian PUPR, 2017) :

- i) Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- ii) Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Kementerian PUPR, 2017) :

**Tabel 2.3** Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	$h_{min}$	1,5-2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
2	Ambang batas ( <i>free board</i> )	$h_{fb}$	5-30	%	

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Qudara	0,01-0,015	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -menit	
4	Kemiringan dasar tangki	Slope	40-100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
5	Waktu Tinggal	Td	1-2	jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

Sumber: (Kementerian PUPR, 2017)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung antara lain:

- Waktu Tinggal (Td)

$Td = V \times Q$  Keterangan:

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

Q = debit air limbah yang dipompa (m<sup>3</sup>/detik)

- Kecepatan Aliran (V)

$V = A \times H$

Keterangan:

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

H = kedalaman air (m)

- Dimensi Bak Penampung

$V = P \times L \times H$

Keterangan:

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

P = panjang bak (m), dengan  $2 \times L$

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

- Kedalaman Total (H<sub>Total</sub>)

$H_{Total} = H + (fb \times H)$

Keterangan:

Fb = *freeboard*

- Jari-Jari Hidrolis

$R = \frac{W \times H}{W \times 2H}$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

- Pipa *Inlet* Pompa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

d = diameter pipa

V = volume bak

- Pipa *Outlet* Pompa

i. Luas penampang pipa pompa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

ii. kecepatan aliran dalam pipa pompa *outlet*

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

- *Headloss*

i. *Headloss* Mayor (Hf Mayor)

$$H_f \text{ Mayor} = \frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,82}} \times L$$

ii. *Headloss* Minor (Hf Minor)

$$H_f \text{ Minor} = k_1 \times \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \times \frac{v^2}{2g})$$

iii. *Headloss* Total = Ha + Hf mayor + Hf minor

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya *shock loading* rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

**Tabel 2.4** Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	Air limbah sebelum diolah
		Penggunaan lumpur kedua
		Pembuangan <i>effluent</i>

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	Screw	Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua
		Air limbah pertama
		Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	Permasalahan zat kimia limbah logam
		Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
<i>Pneumatic Ejector</i>	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil	

Sumber: (Qasim, Syed R. Zhu G, 2017)

#### 2.3.4 Tangki Netralisasi

Proses netralisasi bertujuan untuk melakukan perubahan derajat keasaman (pH) air limbah atau air buangan industri. Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO<sub>2</sub> dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000). Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996) :

- a. Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
- b. Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- c. Penambahan Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH, Na<sub>2</sub>(CO)<sub>3</sub>, atau NH<sub>4</sub>(OH) ke limbah asam
- d. Penambahan asam kuat H<sub>2</sub>(SO)<sub>4</sub>, HCl ke dalam limbah basa
- e. Pembangkitan CO<sub>2</sub> dalam limbah basa



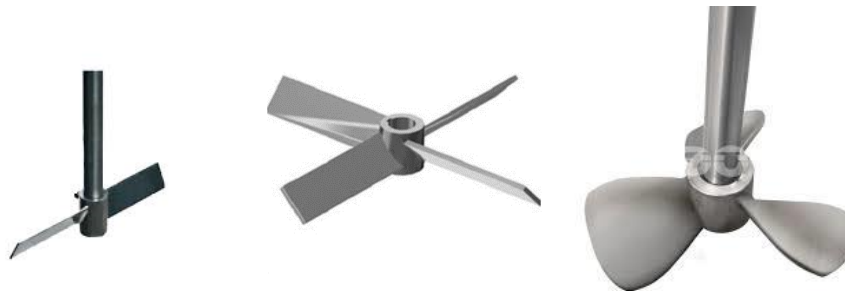
No.	Asam dan Basa	Rumus Kimia	Kelarutan (g/100 g air)	Keterangan
1.	Natrium Hidroksida	NaOH	42 (0 °C)	Kelarutan tinggi Kecepatan reaksi tinggi, Harga mahal
2.	Natrium Karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7 - 2 (0 °C)	
3.	Kalsium Oksida	CaO	-	- Kelarutan kecil, karena berbentuk "Slurry".
4.	Kalsium Hidroksida	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,185 (0 °C)	- Kecepatan reaksi rendah
5.	Kapur	Ca(CO) <sub>3</sub>	0,014 (25 °C)	- Harga murah
6.	Asam Sulfat	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	- Larutan kecepatan reaksi tinggi
7.	Asam Klorida	HCl	-	- Bentuk larutan sehingga mudah di olah.

**Gambar 2.3** Perbandingan bahan penetral untuk proses netralisasi air limbah

Sumber : (Agustina & Emmy, 1995)

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

- 1) *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm
- 2) *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
- 3) *Propeller* dengan putaran 150 – 15.000 rpm



**Gambar 2.4** a) *Paddle Impeller*, b) *Propeller Impeller*, c) *Turbine Impeller*

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit netralisasi:

A. Bak Pembubuh

- Dosis Ca(OH)<sub>2</sub>

$$\text{Dosis} = \frac{q \text{ (mg)}}{V \text{ air (L)}} \times \frac{1}{BM \text{ (g/g.mol)}} \times \frac{1}{1000 \text{ (mg/g)}}$$

- Kebutuhan Ca(OH)<sub>2</sub>

$$\text{Ca(OH)}_2 = \text{Dosis Ca(OH)}_2 \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \times N_1 = Q_2 \times N_2$$

- Volume total

$$V_{\text{Total}} = Q_{\text{Total}} \times T_d$$

Keterangan:

Q = debit air

T<sub>d</sub> = waktu detensi

- Dimensi tangki

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h$$

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Diameter *impeller*

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

- Lebar *impeller*

$$W_i = 1/10 \times D_i$$

Keterangan:

D<sub>i</sub> = diameter *impeller*

- Cek bilangan reynold (Nre)

$$NRe = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D<sub>i</sub> = diameter *impeller*

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran *paddle*

## B. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi  

$$V \text{ Tangki} = Q \times T_d$$

$$V \text{ Total} = V \text{ Air} + V \text{ Pembubuh}$$
- Dimensi tangka netralisi  

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h$$

$$H \text{ Total} = H + \textit{Freeboard}$$

Keterangan:  
d = diameter tangki  
h = tinggi tangki
- Suplai tenaga ke air  

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

Keterangan:  
G = gradien kecepatan  
 $\mu$  = viskositas dinamik  
V = volume tangki
- Cek Di  

$$\text{Cek Di} = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

Keterangan:  
Di = diameter *impeller*  
D = diameter tangki
- Menghitung ukuran baffle pada tangki  

$$\text{Baffle} = 10\% \times D_T$$
- Cek bilangan reynold (Nre)  

$$NRe = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:  
Di = diameter *impeller*  
 $\mu$  = viskositas dinamik  
n = kecepatan putaran *paddle*
- Luas penampang pipa  

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa *outlet*

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

- Cek kecepatan pipa *outlet*

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

Keterangan:

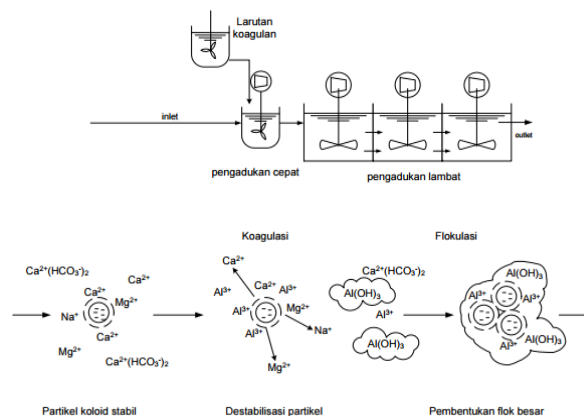
Q = debit air

A = luas

### C. Dosing Pump

- Debit *dosing pump* (Q) =  $Q_{\text{pembubuhan}}$

### 2.3.5 Koagulasi-Flokulasi



**Gambar 2.5** Proses Koagulasi-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, 1991). 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.

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 (Ali Masduqi, Abdu F. 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  $Al(OH)_3$ , Ferri Klorida, dan lain-lain.

Koagulasi biasa didefinisikan sebagai suatu proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan juga virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulandibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

**Tabel 2.5** Jenis-jenis Koagulan

<b>Nama</b>	<b>Formula</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Reaksi dengan Air</b>	<b>pH Optimum</b>
Aluminium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ $x = 14,16,18$	Bongkah, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium Aluminate	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}$	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric Sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal Halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, Cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal Halus	Asam	>8,5

(Sumber : Sugiharto, 2008)

Menurut (Prasetya & Saptomo, 2018), PAC lebih baik dibandingkan tawas dengan dosis optimum yang sama, namun biaya untuk PAC lebih mahal dua kali lipat dibandingkan tawas, maka disebutkan dalam kesimpulan bahwa rata-rata efisiensi dari tawas dan PAC adalah 91,34% dan 83%. Maka, dari penelitian ini ditentukan koagulan yang digunakan untuk proses koagulasi-flokulasi adalah tawas.

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu :

1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

3. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

4. Dosis Koagulan

Dosis koagulan terhadap air yang mempunyai kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflok yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

5. Pengadukan (*Mixing*)

Pengadukan atau *Mixing* diperlukan supaya terjadi tumbukan antar partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflok. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

6. Pengaruh Garam

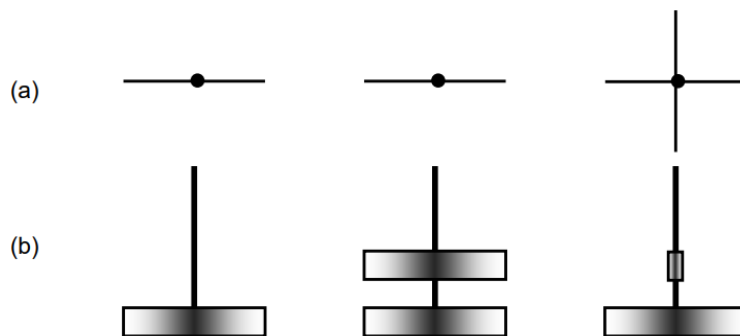
Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibanding dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan *pneumatic*. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling) masing-masing memiliki kriteria *impeller* yang berbeda.

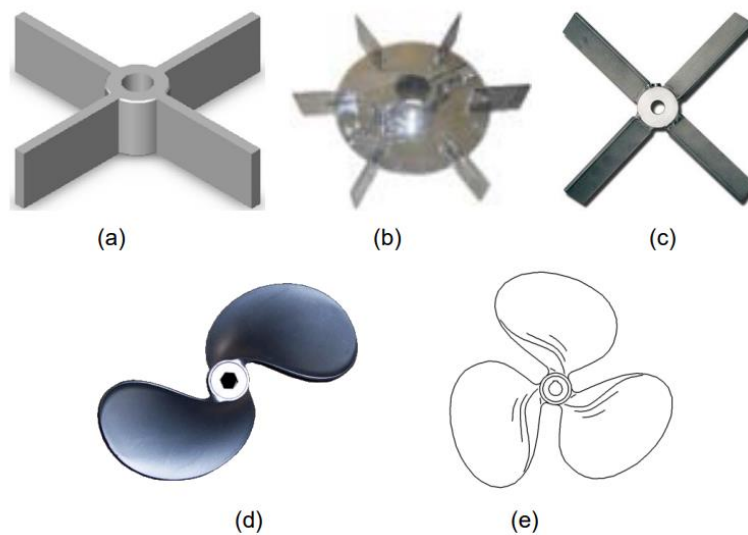
**Tabel 2.6** Kriteria *Impeller*

<b>Tipe <i>Impeller</i></b>	<b>Kecepatan Putaran</b>	<b>Dimensi</b>	<b>Ket</b>
<i>Paddle</i>	20 – 150 rpm	Diameter 50 – 80% lebar bak Lebar 1/6 – 1/10 diameter <i>paddle</i>	-
<i>Turbine</i>	10 – 150 rpm	Diameter 30 – 50% lebar bak	-
<i>Propeller</i>	400 – 1750 rpm	Diameter maks. 45 cm	Jumlah <i>pitch</i> 1 – 2 buah

(Sumber : Reynolds & Richard, 1996:185)



**Gambar 2.6** Tipe *Paddle* (a) tampak atas, (b) tampak samping



**Gambar 2.7** Tipe *turbine* dan *propeller*. (a) *turbine blade* lurus, (b) *turbine blade* dengan piringan, (c) *turbin* dengan *blade* menyerong, (d) *propeller* 2 *blade*, (e) *propeller* 3 *blade*  
Sumber : (Qasim, et al., 2000)



### 2.3.6 Sedimentasi 1

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

- *Zona Inlet (Inlet Zone)*

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

- *Zona Pengendapan (Settling Zone)*

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

- i. Karakteristik partikel tersuspensi;
- ii. Overflow rate; dan
- iii. Efisiensi Bak.

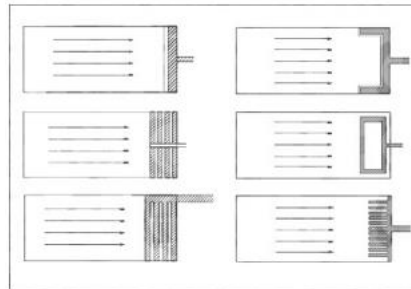
- *Zona Lumpur (Sludge Zone)*

*Zona lumpur* merupakan zona untuk partikel-partikel deskret yang telah mengendap dan memiliki kemiringan tertentu menuju hopper yang terletak di bawah *inlet*. Kemiringan pada zona lumpur berfungsi untuk mempermudah saat pembersihan lumpur. Pada bak regular, kemiringan dasar bak sebesar 1%-2 %. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

- *Zona Outlet (Outlet Zone)*

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

beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona *Outlet* tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona *Outlet* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.8** Susunan pelimpah pada zona *Outlet* bak pengendap

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

a. Kriteria Perencanaan

**Zona Pengendapan (Settling Zone)**

i. Over Flow Rate (OFR)

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

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

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6 – 3,6

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

iii. Dimensi

a. Rectangular

- Panjang (L) = 10-100 m

- Lebar (W) = 3-24 m

- Kedalaman (H) = 2,5-5 m

- W : L = 1-7,5 : 1

- L : H = 4,2-25 : 1

b. Circular

- Diameter (D) = 3-60 m

- Kedalaman (H) = 3-6 m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 271)

iv. % Removal TSS = 50%-70%

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 12)

- v. Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (Aliran Laminer)
- vi. Bilangan Freud (NFr) =  $>10^{-5}$  (Mencegah Aliran Pendek)  
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)
- vii. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5  
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)
- viii. Slope ke arah Zona *Sludge*
  - Rectangular = 1%-2%
  - Circular = 40-100 m/m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 274)
- ix. Cek NRe Partikel < 0,5
- x. Syarat terjadinya pengendapan ( $T_p < T_d$ )
- xi. Syarat terjadinya penggerusan ( $V_{sc} > V_h$ )
- xii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
  - Kinematic Viscosity ( $\nu$ ) =  $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Absolute Viscosity ( $\mu$ ) =  $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
  - Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99626 \text{ g/cm}^3$   
=  $996,26 \text{ kg/m}^3$

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)
- xiii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016  
Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)
- xiv. Kontrol penggerusan
  - Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,05
  - Faktor fraksi hidrolis ( $\lambda$ ) = 0,03

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

**Zona Inlet (Inlet Zone)**

- i. Kecepatan Aliran = 0,3-0,6 m/s  
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316)
- ii. *Freeboard* = 10%-20%

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159)

iii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016

Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)

#### **Zona Transisi (Transition Zone)**

i. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016

Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)

ii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:

- Kinematic Viscosity ( $\vartheta$ ) =  $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

- Absolute Viscosity ( $\mu$ ) =  $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$

- Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99626 \text{ g/cm}^3$

=  $996,26 \text{ kg/m}^3$

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)

#### **Zona Lumpur (Sludge Zone)**

i. Volatile Solid = 60%-90%

ii. Dry Solid = 3%-8%

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 428)

iii. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

iv. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:

- Kinematic Viscosity ( $\vartheta$ ) =  $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

- Absolute Viscosity ( $\mu$ ) =  $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$

- Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99626 \text{ g/cm}^3$

=  $996,26 \text{ kg/m}^3$

#### **Zona Outlet (Outlet Zone)**

i. Koefisien Grad (Cd) = 0,6

ii. Sudut V Notch = 60°

Sumber: (Qasim, dkk., 2000)

iii. Weir Loading Rate

-  $124 \text{ m}^3/\text{m.hr}$  untuk debit  $<44 \text{ L/s}$

-  $186 \text{ m}^3/\text{m.hr}$  untuk debit  $>44 \text{ L/s}$

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 270)

b. Rumus yang Digunakan

## Zona Pengendapan (Settling Zone)

- i. Luas Permukaan

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

Keterangan:

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

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

- ii. Cek Over Flow Rate

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

Keterangan:

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

L = panjang(m)

W = lebar (m)

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

- iii. Kecepatan Pengendapan (v<sub>s</sub>)

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

Keterangan:

T<sub>d</sub> = waktu detensi (s)

V<sub>s</sub> = kecepatan pengendapan (m<sup>2</sup>/s)

H = kedalaman (m)

- iv. Kecepatan Horizontal (v<sub>h</sub>)

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

Keterangan:

V<sub>h</sub> = kecepatan horizontal (m<sup>2</sup>/s)

L = panjang (m)

T<sub>d</sub> = waktu detensi (s)

- v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

vi. Diameter Partikel ( $D_p$ )

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

Keterangan:

$D_p$  = diameter partikel (m)

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

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

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

$S_s$  = Spesifik Gravity Suspended Solid

vii. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

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

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

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

$D_p$  = diameter partikel (m)

$S_s$  = Spesifik Gravity Suspended Solid

viii. Cek Bilangan Reynold Zona Pengendapan (Nre)

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

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

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

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

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

ix. Cek Bilangan Freud (NFr)

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

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

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

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

x. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring ( $v_{sc}$ )

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

Keterangan:

$V_{sc} = \text{Kecepatan Scouring (m}^2/\text{s)}$

$S_s = \text{Spesifik Gravity Suspended Solid}$

$g = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$D_p = \text{diameter partikel (m)}$

xi. Slope Bak

$S_{Bak} = 1\% \times L$

Keterangan:

$S_{Bak} = \text{slope bak (m/m)}$

$L = \text{pnajang bak (m)}$

xii. Kehilangan Tekanan Pada Zona Pengendapan

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

Keterangan:

$H_f = \text{kehilangan tekanan pipa (m)}$

$V_h = \text{kecepatan horizontal (m}^2/\text{s)}$

$n = \text{koefisien kekasaran manning}$

$R = \text{jari-jari hidrolis (m)}$

$L = \text{panjang bak (m)}$

**Zona Inlet (Inlet Zona)**

i. Luas Permukaan

$A = W \times L$

Keterangan:

$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$

$W = \text{lebar bak (m)}$

$L = \text{panjang bak (m)}$

ii. Volume Zona Inlet

$V = Q \times T_d$

Keterangan:

$V = \text{volume bak (m}^3\text{)}$

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

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

iii. Kedalaman Zona Inlet

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

$$H \text{ Total} = H + Fb$$

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

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

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

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

iv. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

#### **Zona Transisi (Transition Zone)**

i. Luas *Perforated Baffle* (Ab)

$$Ab = Wb \times Hb$$

Keterangan:

Ab = Luas *Perforated Baffle*

Wb = Lebar Baffle

Hb = Tinggi Baffle

ii. Luas per Lubang (Al)

$$Al = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Keterangan:

Al = Luas per Lubang

D = Diameter Lubang

iii. Luas Bersih Baffle (Abb)

$$Abb = 40\% \times Ab$$

Keterangan:

Abb = Luas Bersih Baffle

Ab = Luas *Perforated Baffle*

iv. Jumlah Lubang (n Total)

$$n \text{ Total} = \frac{\text{Luas Bersih Baffle (Abb)}}{\text{Luas per Lubang (Al)}}$$



Keterangan:

n Total = Jumlah Lubang

Abb = Luas Bersih Baffle

Al = Luas per Lubang

v. Jarak antar Lubang Horizontal (Sh)

$$Sh = \frac{\text{Lebar Baffle (Wb)}}{n \text{ Horizontal}}$$

Keterangan:

Wb = Lebar Baffle

n Horizontal = Jumlah Lubang Horizontal

vi. Jarak antar Lubang Vertikal (Sv)

$$Sv = \frac{\text{Tinggi Baffle (Hb)}}{n \text{ Vertikal}}$$

Keterangan:

Hb = Tinggi Baffle

n Vertikal = Jumlah Lubang Vertikal

vii. Kecepatan Aliran Lewat Lubang (vl)

$$vl = \frac{Ql}{\frac{1}{4} \pi x D^2}$$

Keterangan:

vl = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

Ql = Debit Melalui Lubang

D = Diameter Lubang

viii. Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\text{Diameter Lubang}}{2}$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

ix. Cek Bilangan Reynold (NRe)

$$NRe = \frac{\rho \text{ air } x vl x R}{\mu}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

$\rho$  = Massa Jenis Air (kg/m<sup>3</sup>)

vl = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

R = jari-jari hidrolis (m)

$\mu = \text{Absolute Viscosity (N.s.m}^2\text{)}$

xiv. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$\text{NFr} = \frac{vl^2}{g \times R}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

vl = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

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

R = jari-jari hidrolis (m)

### **Zona Lumpur (*Sludge Zone*)**

i. Removal TSS (output *Sludge* di Bak Pengendap)

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

Keterangan:

$C_n$  = Removal TSS (mg/L)

$C_o$  = TSS *Influent* (mg/L)

%removal = persentase removal TSS

ii. Berat Solid

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

Keterangan:

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

iii. Berat Air

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

Keterangan:

$\frac{95\%}{5\%}$  = perbandingan antara air & solid

iv. Berat Jenis Solid

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

Keterangan:

$S_g$  = berat jenis solid ( $kg/m^3$ )

v. Berat Jenis *Sludge*

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

Keterangan:

$S_i$  = berat jenis *sludge* ( $kg/m^3$ )

$\rho$  = Massa Jenis Air ( $kg/m^3$ )

vi. Volume Solid

$$V \text{ Solid} = \frac{\text{Berat Solid}}{Sg \text{ Solid}}$$

Keterangan:

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

Sg = berat jenis solid (kg/m<sup>3</sup>)

vii. Volume Air

$$V \text{ Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$$

Keterangan:

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

ρ = Massa Jenis Air (kg/m<sup>3</sup>)

viii. Volume Lumpur

$$V \text{ Lumpur} = V \text{ air} + V \text{ Solid}$$

Keterangan:

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

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

ix. Dimensi Ruang Lumpur

$$V \text{ Pengurasan} = V \text{ Lumpur} \times \text{Periode Pengurasan}$$

$$\text{Luas Atas (Aa)} = \text{La} \times \text{Wa}$$

$$\text{Luas Bawah (Ab)} = \text{Lb} \times \text{Wb}$$

$$V \text{ Ruang Lumpur} = \frac{1}{3} \times H \times [(Aa + Ab) + (\sqrt{Aa + Ab})]$$

Keterangan:

H = kedalaman (m)

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

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

La = panjang atas (m)

Wa = lebar atas (m)

Lb = panjang bawah (m)

Wb = lebar bawah (m)

x. Pipa Penguras

$$Q \text{ Pengurasan} = \frac{V \text{ Ruang Lumpur}}{Td}$$

Keterangan:

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

Td = waktu detensi (s)

Diameter Pipa Penguras

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

Keterangan:

D = diameter pipa (m)

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

### **Zona Outlet (Outlet Zone)**

i. Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

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

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

ii. Volume Zona Outlet

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

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

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

Td = waktu detensi (s)

iii. Kedalaman Zona Outlet

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

$$H \text{ Total} = H + Fb$$

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

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

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

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

iv. Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

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

W = lebar (m)

H = kedalaman bak (m)

v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

vi. Kehilangan Tekanan

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

Keterangan:

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

v = kecepatan aliran (m/s)

n = koefisien kekasaran manning pipa

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

vii. Slope (S)

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

Keterangan:

S = kemiringan pipa (m/m)

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

L = panjang pipa (m)

ix. Gutter dan Weir (Pelimpah)

- Panjang Weir (L<sub>w</sub>)

$$\text{Panjang Weir (L}_w\text{)} = \frac{Q}{\text{Weir Loading Rate} \times \text{Jumlah Weir}}$$

Keterangan:

L<sub>w</sub> = Panjang Weir (m)

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

- Luas Saluran Pelimpah/Gutter

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

Keterangan:

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

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

v = kecepatan aliran (m/s)

- Ketinggian Air Pada Gutter (H<sub>air</sub>)

$$H_{\text{air}} = \left( \frac{Q \text{ Gutter}}{1,38 \times W \text{ Gutter}} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

H<sub>air</sub> = ketinggian air (m)

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

- Tinggi Gutter (H Gutter)

H Gutter = H + *Freeboard*

Keterangan:

H Gutter = tinggi gutter (m)

H = kedalaman bak (m)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

- Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R_{\text{gutter}} = \frac{W \text{ Gutter} \times H_{\text{air}}}{W \text{ Gutter} + (2 \times H_{\text{air}})}$$

Keterangan:

R<sub>gutter</sub> = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

W<sub>gutter</sub> = Lebar Gutter (m)

H<sub>air</sub> = ketinggian air (m)

- Luas Basah Gutter

A<sub>Gutter</sub> = W<sub>gutter</sub> x H<sub>air</sub>

Keterangan:

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

W<sub>gutter</sub> = Lebar Gutter (m)

H<sub>air</sub> = ketinggian air (m)

- Kemiringan Gutter

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

Keterangan:

S = kemiringan *gutter* (m/m)

$Q_{gutter}$  = debit yang melalui *gutter* ( $m^3/s$ )

$n$  = jumlah kisi (kisi / buah)

$A_{Gutter}$  = Luas Gutter ( $m^2$ )

$R_{gutter}$  = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

- Kehilangan Tekanan pada Gutter

$H_f = S \times L$

Keterangan:

$H_f$  = Kehilangan Tekanan (m)

$S$  = kemiringan *gutter* (m/m)

$L$  = Panjang Gutter (m)

x. V Notch

- Jumlah V Notch

$$n \text{ V Notch} = \frac{L_w}{\text{Jarak antar V Notch} + W \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

$n \text{ V Notch}$  = Jumlah V Notch

$L_w$  = Panjang Weir (m)

- Debit Mengalir Tiap V Notch

$$Q_{V \text{ Notch}} = \frac{Q}{n \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

$Q_{V \text{ Notch}}$  = Debit Mengalir Tiap V Notch ( $m^3/s$ )

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

$n \text{ V Notch}$  = Jumlah V Notch

- Tinggi Peluapan Melalui V Notch

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

Keterangan:

$Q_{V \text{ Notch}}$  = Debit Mengalir Tiap V Notch ( $m^3/s$ )

$C_d$  = koefisien *drag*

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

$H$  = kedalaman (m)

### 2.3.7 Biofilter Anaerobik-Aerobik

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 aerobik dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub>, air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), 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 anaerobik. 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 dan 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).

Media penyangga adalah merupakan bagian yang terpenting dari biofilter, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah. Di dalam prakteknya ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan antara lain yakni luas permukaan spesifik, fraksi volume rongga, diameter celah bebas, ketahanan terhadap penyumbatan, fleksibilitas, pemeliharaan yang mudah, harga per unit luas permukaan. Maka dari itu, dibuat perbandingan untuk pemilihan media dalam biofilter yang disajikan pada tabel 2.7 dan gambar 2.9 sebagai berikut :

Tipe Media	A	B	C	D	E	F	G
Luas Permukaan Spesifik	5	1	5	5	5	5	5
Volume Rongga	1	1	1	1	4	5	5
Diameter celah bebas	1	3	1	1	2	2	5
Ketahanan terhadap penyumbatan	1	3	1	1	3	3	5
Material	5	5	5	5	5	5	5
Harga per satuan luas	5	3	3	5	4	1	4
Kekuatan mekanik	5	5	1	1	2	2	5
Berat media	1	1	5	5	4	5	5
Fleksibilitas	2	2	1	3	3	4	4
Perawatan	1	1	1	1	3	3	5
Konsumsi Energi	2	2	1	5	4	5	5
Sifat dapat basah	5	5	3	3	3	1	3
<b>Total Bobot</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>36</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>56</b>

**Keterangan :**

Bobot : 1 = Terburuk      5 = Terbaik

- A : Gravel atau kerikil kecil
- B : Garavel atau kerikil besar
- C : Mash Pad
- D : Brillo Pad
- E : Bio Ball
- F : Random Dumped
- G : Media Terstruktur (sarang tawon)

**Gambar 2.9** Pembobotan terhadap beberapa tipe media biofilter

Sumber : (Said & Ruliasih, 2005)

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

**Tabel 2.7** Kelebihan dan Kekurangan Sistem Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
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), detergen, 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	

Kelebihan	Kekurangan
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor	

Sumber : (Kaswinarni, 2007).

Adapun kriteria perencanaan biofilter anerob dan aerobik adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.8** Kriteria Perencanaan Biofilter Anaerobik-Aerobik

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 =  $Q \text{ limbah} \times \text{BOD inlet}$
- Volume media yang diperlukan  

$$= \frac{\text{Beban BOD dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$
- 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* =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$
- Pipa *outlet* anaerobik

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

## B. Perhitungan Biofilter Aerobik

- Beban BOD dalam air limbah =  $Q \text{ limbah} \times \text{BOD inlet}$
- 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  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )
 
$$= \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$
- Produksi *sludge* =  $\frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$

### 2.3.8 Sedimentasi 2 (Secondary Clarifier)

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

Pada unit Clarifier terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada Clarifier adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan piringan berlubang. Fungsi dari piringan berlubang yaitu untuk memecah aliran dalam menciptakan efek pengadukan. Pada proses pengadukan lambat, energi hidrolik yang dibutuhkan cukup kecil agar menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan terpisahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradien kecepatan (Anhar et al., 2021).

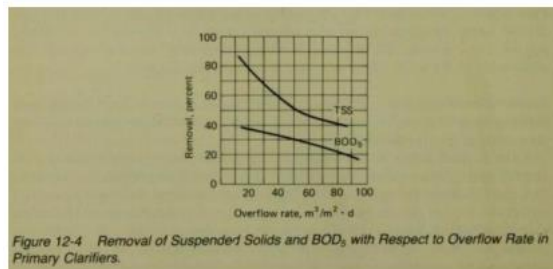
Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman *Clarifier* rata-rata 10-15 feet ( 3-4,6 meter). *Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit *Clarifier*:

### Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Over Flow Rate (OFR)

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



Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6-3,6 jam

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

iii. Dimensi

- Rectangular

- Panjang (L) = 10-100 m
- Lebar (W) = 3-24 m
- Kedalaman (H) = 2,5-5 m
- P : L = 1-7,5 : 1
- P : H = 4,2-25 : 1

- Circular

- Diameter (D) = 3-60 m
- Kedalaman (H) = 3-6 m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 271)

iv. Flight Speed = 0,02-0,05 m/menit

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 398)

v. %Removal TSS = 50%-70%

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 12)

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

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

- vii. Diameter *Inlet Well* = 15%-20% Diameter Bak
- viii. Ketinggian *Inlet Well* = 0,5-0,7 m
- ix. Kecepatan *Inlet Well* = 0,3-0,75 m/s

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

- x. Bilangan Reynold =  $<1$  (Aliran Laminar)  
(NRe) untuk  $v_s$
- xi. Bilangan Reynold =  $<2000$  (Aliran Laminar)  
(NRe) untuk  $v_h$
- xii. Bilangan Freud (NFr) =  $>10^{-5}$  (Mencegah Aliran Pendek)  
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)
- xiii. Specific Gravity = 1,3-1,5  
Suspended Solid  
Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)
- xiv. Slope ke arah Zona *Sludge*
  - Rectangular = 1%-2%
  - Circular = 40-100 m/mSumber: (Qasim, 1985, Halaman 274)  
Konsentrasi Solid = 4%-12%
- xv. Cek NRe Partikel  $< 0,5$
- xvi. Syarat terjadinya pengendapan ( $T_p < T_d$ )
- xvii. Syarat terjadinya penggerusan ( $V_{sc} > V_h$ )
- xviii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
  - *Kinematic Viscosity* =  $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$   
( $\vartheta$ )
  - *Absolute Viscosity* =  $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$   
( $\mu$ )
  - Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99626 \text{ g/cm}^3$   
=  $996,26 \text{ kg/m}^3$Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)
- xix. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016  
(Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)

- xx. Kontrol penggerusan
- Faktor kisi porositas = 0,05  
( $\beta$ )
  - Faktor fraksi hidrolis = 0,03  
( $\lambda$ )

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 57)

**Zona Lumpur (*Sludge Zone*)**

- i. Volatile Solid = 60%-90%
- ii. Dry Solid = 3%-8%

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 428)

- iii. Specific Gravity = 1,3-1,5  
Suspended Solid

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

- iv. Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0,99626 gr/cm<sup>3</sup>  
= 996,26 kg/m<sup>3</sup>

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996. Halaman 762)

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Zona Pengendapan (*Settling Zone*)**

- i. Luas Permukaan

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

Keterangan:

A = Luas Permukaan

Q = Debit Air Limbah

- ii. Diameter Bak

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

Keterangan:

D = Diameter Bak

A = Luas Permukaan

- iii. Cek Over Flow Rate

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

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Cek Waktu Detensi

- Volume Zona Pengendapan

$$V = A \times H$$

Keterangan:

V = Volume Zona Pengendapan

A = Luas Permukaan

H = Tinggi Zona Pengendapan

- Waktu Sesuai Overflow Design

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

Keterangan:

T<sub>d</sub> = Waktu Detensi

V = Volume Zona Pengendapan

Q = Debit Air Limbah

v. Kecepatan Pengendapan (v<sub>s</sub>)

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

Keterangan:

v<sub>s</sub> = Kecepatan Pengendapan

H = Tinggi Zona Pengendapan

T<sub>d</sub> = Waktu Detensi

vi. Kecepatan Horizontal (v<sub>h</sub>)

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

Keterangan:

v<sub>h</sub> = Kecepatan Horizontal

D = Diameter Bak

T<sub>d</sub> = Waktu Detensi

vii. Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan:

R = Jari-Jari Hidrolis

D = Diameter Bak



viii. Diameter Partikel (Dp)

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

Keterangan:

Dp = Diameter Partikel

v<sub>s</sub> = Kecepatan Pengendapan

μ = *Absolute Viscosity*

Sg = Suspended Gravity Solid

ix. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$NRe \text{ Partikel} = \frac{D_p \times v_s}{\mu}$$

Keterangan:

NRe Partikel = Bilangan Reynold Partikel

Dp = Diameter Partikel

v<sub>s</sub> = Kecepatan Pengendapan

μ = *Absolute Viscosity*

x. Cek Bilangan Reynold (NRe)

$$NRe = \frac{v_h \times r}{\mu}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynold

v<sub>h</sub> = Kecepatan Horizontal

r = Jari-Jari Bak

μ = *Absolute Viscosity*

xi. Cek Bilangan Freud (NFr)

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

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

v<sub>h</sub> = Kecepatan Horizontal

g = Kecepatan Gravitasi Bumi

H = Tinggi Zona Pengendapan

xii. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring (v<sub>sc</sub>)

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

Keterangan:

$\beta$  = Faktor Kisi  
 $\lambda$  = Faktor Fraksi  
 Ss = Suspended Gravity Solid  
 g = Kecepatan Gravitasi Bumi  
 Dp = Diameter Partikel

**Zona Inlet (Inlet Zone)**

i. Diameter *Inlet* Wall (Diw)

$$\text{Diw} = 20\% \times \text{Diameter Bak}$$

ii. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = Luas Permukaan

D = Diameter Bak

iii. Kecepatan air di *inlet* awal (V')

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

Keterangan:

V' = Kecepatan Air di Pipa *Inlet*

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Pipa *Inlet*

- Luas Penampang Pipa (A)

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

Keterangan:

A = Luas Penampang Pipa

Q = Debit Air Limba

V' = Kecepatan Air di Pipa *Inlet*

- Diameter Pipa (D)

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

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Penampang Pipa

- v. Cek Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran

Q = Debit Air Limbah

D = Diameter Bak

### Zona Penipisan (Thickening Zone)

- i. MLVSS dalam *Clarifier*

$$MLVSS_{AS} = \%Biological \times MLVSS_{Total}$$

- ii. Massa Solid Total pada *Clarifier*

$$M_{Solid\ Total} = MLVSS_{Clarifier} \times V_{Clarifier}$$

- iii. Kedalaman Zona Penipisan

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

Keterangan:

H = Tinggi Zona Penipisan

A = Luas Permukaan Bak

### Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

- i. Removal TSS (output *Clarifier* menuju SDB)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{ Removal}))$$

Keterangan:

C<sub>n</sub> = Removal TSS

C<sub>o</sub> = *Influent* TSS

- ii. Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = (\text{Removal TSS} \times Q) + P_{X_{MLSS}}$$

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

P<sub>X<sub>MLSS</sub></sub> = Produksi Lumpur

- iii. Berat Air

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

- iv. Berat Jenis Solid

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

v. Berat Jenis *Sludge* ( $S_i$ )  
 $S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho \text{ air})$

vi. Volume Solid  
 $V_{\text{Solid}} = \frac{\text{Berat Solid}}{S_g \text{ Solid}}$

vii. Volume Air  
 $V_{\text{Air}} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$

viii. Volume Lumpur  
 $V_{\text{Lumpur}} = V_{\text{Air}} + V_{\text{Solid}}$

ix. Berat *Sludge*  
 $\text{Berat Sludge} = V_{\text{Lumpur}} \times S_i$

x. Dimensi Ruang Lumpur  
 - Volume Ruang Lumpur  
 $V_{\text{Ruang Lumpur}} = V_{\text{Lumpur}} \times \text{Periode Pengurasa}$

- Kedalaman Ruang Lumpur)

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

Keterangan:

H = Tinggi Zona Lumpur

R = Jari-Jari Permukaan Atas

r = Jari-Jari Permukaan Bawah

- Kedalaman Total *Clarifier*

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

$$H \text{ Clarifier Total} = H \text{ Clarifier} + \text{Freeboard}$$

xi. Dimensi Pipa Penguras

- Debit Pengurasan

$$Q_p = \frac{V \text{ ruang lumpur}}{T_d}$$

- Luas Permukaan

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

- Diameter Pipa Penguras

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

### **Zona Outlet (Outlet Zone)**

i. Panjang Weir ( $L_w$ )

$$Lw = \pi \times D \text{ Bak}$$

ii. Jumlah V Notch (n)

$$n = \frac{L_{weir}}{\text{Jarak V Notch}}$$

iii. Debit tiap V Notch

$$Q \text{ V Notch} = \frac{Q}{n}$$

iv. Tinggi peluapan melalui V Notch ( $H_{air}$ )

$$Q \text{ V Notch} = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

Cd = Koefisien Drag

H = Ketinggian Air

v. Luas Saluran Pelimpah

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

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

Q = Debit Air Limbah

v = Kecepatan Aliran

vi. Dimensi Saluran Pelimpah

$$H : W = 1 : 2$$

$$A = H \times W$$

$$= H \times 2H$$

$$= 2H^2$$

$$H \text{ Total} = H + \text{Freeboard}$$

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

H = Tinggi Zona

W = Lebar Zona

L = Panjang Zona

vii. Pipa *Outlet* ke Badan Air

$$\text{Diameter Pipa (D)} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Saluran Pelimpah

### 2.3.9 Bak Kontrol

Bak kontrol adalah bak penampung effluen air limbah setelah diolah oleh bangunan pengolahan air buangan industri minyak kelapa sawit sebelum dibuang ke badan air. Bak kontrol berfungsi sebagai unit pengawasan effluen air limbah sudah lebih kecil dari baku mutu air limbah yang diizinkan atau belum.

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak kontrol antara lain:

- Waktu Tinggal ( $T_d$ )

$T_d = V \times Q$  Keterangan:

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

Q = debit air limbah yang dipompa ( $m^3/detik$ )

- Kecepatan Aliran (V)

$V = A \times H$

Keterangan:

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

H = kedalaman air (m)

- Dimensi Bak Kontrol

$V = P \times L \times H$

Keterangan:

V = volume bak ( $m^3$ )

P = panjang bak (m), dengan  $2 \times L$

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak kontrol (m)

- Kedalaman Total ( $H_{Total}$ )

$H_{Total} = H + (fb \times H)$

Keterangan:

Fb = *freeboard*

- Jari-Jari Hidrolis

$R = \frac{W \times H}{W \times 2H}$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

- Pipa *Inlet* Pompa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

D = diameter pipa

V = volume bak

- Pipa *Outlet* Pompa

iii. Luas penampang pipa pompa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

iv. kecepatan aliran dalam pipa pompa *outlet*

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

### 2.3.10 *Belt filter press*

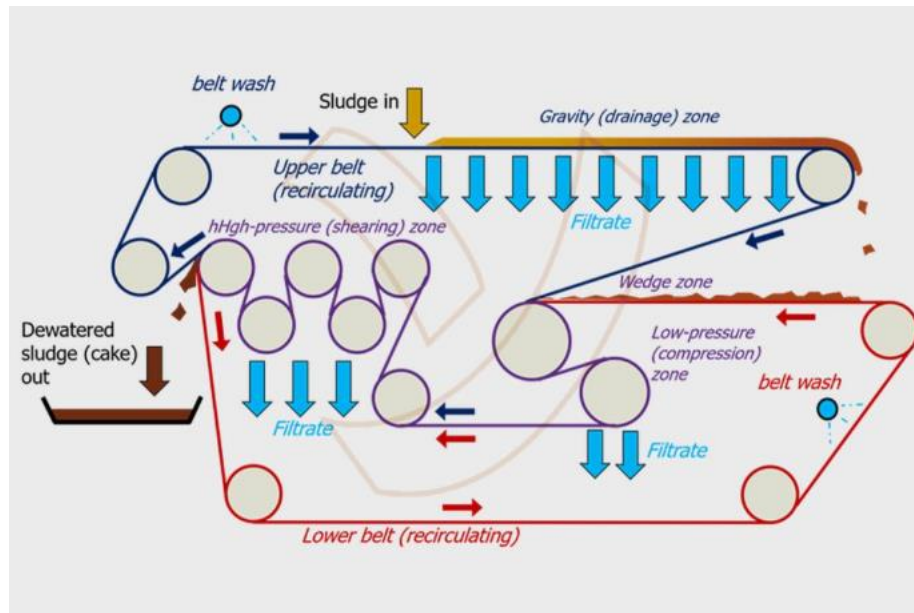
*Belt filter press* merupakan sebuah mesin yang banyak digunakan di berbagai bidang industri. Mesin ini dipakai untuk memisahkan benda padat dan cair. Misalnya dipakai dalam industri kimia untuk menguras lumpur.

Biasa disebut juga dengan nama *belt press*, mesin ini juga kerap dipakai dalam bidang industri pembuatan jus apel dan anggur. Tentu masih ada lebih banyak lagi bidang industri yang menggunakan mesin ini.

Mesin ini akan memisahkan dua fase tersebut dengan filtrasi yang mengandalkan tekanan. Air nantinya akan dipisahkan dari fase *slurry* dan dipaksa untuk masuk ke ruangan melalui pori-pori.

Saat air masuk ke pori-pori tersebut ada tekanan yang bekerja sehingga didapatkan tingkat kekeringan tertentu. Nantinya kotoran padat atau *sludge* akan tertinggal di filter dan

cairan yang bersih akan keluar lewat pipa kapiler.



**Gambar 2.10** Proses kerja *Belt Filter Press*

#### 2.4 Persen Removal Unit Pengolahan

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki Removal yang berbeda. Persen Removal berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%). Besar persen Removal unit pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 2.9** Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
<i>Pre-Treatment</i>		
Saluran Pembawa	-	-
<i>Bar screen</i>	-	-
Bak Penampung	-	-
<i>Primary Treatment</i>		
Netralisasi	pH 6,5 – 9	(Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations & Processes in Environment Engineering, page 161



<b>Unit Pengolahan</b>	<b>% Removal</b>	<b>Sumber</b>
Koagulasi-Flokulasi	-	-
Bak Sedimentasi 1	TSS 40% 70%	Sumber: Metcalf and Edyy, 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition. Page 396
<b>Secondary Treatment</b>		
Biofilter Anaerobik	BOD 90%	(Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerobik Media Plastik Bioball. Hal 55)
	COD 86% - 90% (Said & Firly, 2018)	(Sumber: Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 9)
	TSS 95% - 98%	(Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean. Hal 9)
Biofilter Aerobik	BOD 90% - 95%	(Sumber: Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305)

Unit Pengolahan	% Removal	Sumber
	COD 86% - 90%	(Sumber: Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 9)
	TSS 73% - 91%	(Sumber: Pamungkas, E. (2015). Studi kinerja biofilter aerobik untuk mengolah air limbah laundry (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
Secondary Clarifier	TSS 40% 70%	Sumber: Metcalf and Eddy, 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition. Page 396
<b>Sludge Treatment</b>		
Belt filter press	-	-