

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Setiap industri dan kegiatan usaha memiliki karakteristik limbah yang berbeda – beda, sesuai dengan produk yang dihasilkan dan proses yang dilakukan. Demikian dengan industri susu yang menghasilkan bermacam – macam karakteristik serta membutuhkan proses dalam pengolahan limbahnya. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, limbah industri susu memiliki karakteristik antara lain:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Susu

Parameter	Kadar Maksimum
BOD5	40 mg/L
COD	100 mg/L
TSS	50 mg/L
NH ₃ N	10 mg/L
Ammonia Total (NH ₃ -N)	10 mg/L
pH	6-9
Kuantitas air limbah paling tinggi	1,5 m ³ per ton susu yang diolah

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014)

A. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organic yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktifitas mikroba. BOD juga merupakan suatu Analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses mikrobiologis yang benar – benar terjadi dalam air.

BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua dioerlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi dilaboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅

Kandungan BOD air buangan proses industri susu adalah 360 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 40 mg/l.

B. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/l) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat)

Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai COD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan dengan uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidasi yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam.

Kandungan COD air buangan proses kegiatan industry pengolahan susu ini adalah 900 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 100 mg/l.

C. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal $2\mu\text{m}$ atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Yang termasuk TSS dalam air limbah seperti pasir, liat, dan bahan organik. TSS memiliki massa jenis yang sangat kecil sehingga tidak dapat terlarut dalam air. TSS jika dibuang ke badan air akan meningkatkan kekeruhan dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan hewan – hewan air

Kandungan TSS air buangan proses kegiatan industri pengolahan susu ini adalah 450 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 50 mg/l.

D. Minyak dan Lemak

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

- Tersumbatnya saluran pembawa.
- Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yangberpotensi merusak pompa
- Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya.
- Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.
- Tertutupnya porositas (pori-pori) karbon aktif akibat minyak dan lemak pada proses filtrasi.
- Sukarnya pemanjangan dan pengurangan kandungan air pada proses biosolid.

Kandungan TSS air buangan proses kegiatan industri pengolahan susu ini adalah 450 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 50 mg/l.

E. Amonia Total ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Ammonia total adalah senyawa kimia dengan rumus $\text{NH}_3\text{-N}$. Senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau ammonia). Walaupun ammonia memiliki sumbangsih penting bagi keberadaan nutrisi di Bumi, namun ammonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan.

Amonia memiliki sifat – sifat sebagai berikut:

- Amonia cair mempunyai sifat keterlarutan yang tinggi, dia bisa melarutkan logam alkali dengan mudah untuk membentuk larutan yang berwarna dan bisa menghantarkan listrik yang baik;

- Bisa larut dalam air, reaksinya dengan air menghasilkan sedikit amonium hidroksida (NH_4OH);
- Amonia tidak mempengaruhi pembakaran dan tidak akan terbakar kecuali dicampur dengan oksigen. Nyala api amonia yang terbakar berwarna hijau kekuningan muda. Amonia akan meletup jika dicampur dengan udara;
- Amonia memiliki aroma yang menyengat.

Kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ air buangan proses kegiatan industri pengolahan susu ini adalah 90 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 10 mg/l.

F. pH

pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen, ukuran keasaman atau alkalinitas suatu larutan. Skala pH biasanya berkisar antara 0 hingga 14. Larutan dalam air pada 25°C dengan pH kurang dari 7 bersifat asam, sedangkan yang dengan pH lebih besar dari 7 bersifat basa atau alkali. Tingkat pH 7,0 pada 25°C didefinisikan sebagai “netral” karena konsentrasi H_3O^+ sama dengan konsentrasi OH^- dalam air murni. Asam yang sangat kuat mungkin memiliki pH negatif, sedangkan basa yang sangat kuat mungkin memiliki pH lebih besar dari 14.

Kandungan pH air buangan proses kegiatan industri pengolahan susu ini adalah 7, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan pH yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 6-9. Jadi dengan demikian pH dari air buangan proses kegiatan industri pengolahan susu ini sudah memenuhi standart baku mutu sehingga tidak perlu dilakukan pengolahan khusus untuk menurunkan parameter pH.

2.2 Bangunan Pengolahan

Tujuan utama pengolahan limbah adalah mengurangi partikel – partikel, BOD, membunuh organisme patogen, menghilangkan nutrien, mengurangi komponen beracun, mengurangi bahan – bahan yang tidak dapat di degradasi agar konsentrasinya menjadi lebih rendah.

Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Pengolahan terhadap tingkat perlakuannya dan pengolahan terhadap sifatnya. Dilihat dari tingkat perlakuannya proses pengolahan air limbah terdiri dari empat tahapan dalam pengolahan air limbah, yakni:

1. Pengolahan Pendahuluan (*Pre - Treatment*)
2. Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)
3. Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)
4. Pengolahan Lumpur (*Sludge – Treatment*)

2.2.1 Bangunan Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Dalam pengolahan pendahuluan memiliki peralatan limbah cair agar memiliki homogenitas dan memudahkan bagi pengolahan tingkat lanjut. Di sini ada dua kegiatan yang dilakukan dalam tahapan pengolahan pendahuluan, yaitu:

- 1) Pengambilan benda – benda terapung dengan cara melewatkannya air limbah melalui saringan kasar atau dengan alat pencacah (*communitor*) untuk memotong zat padat yang terdapat pada air limbah;
- 2) Pengambilan benda – benda terendap seperti pasir. Digunakan bak penangkap pasir yang bertujuan untuk menghilangkan kerikil halus, korai, atau zat padat. Bak pengendap disediakan untuk mencegah terjadinya kerusakan alam akibat pengikisan dan terganggunya saluran.

Unit pengolahan air limbah yang digunakan meliputi:

A. Saluran Pembawa

Saluran pembawa digunakan untuk mengalirkan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Perencanaan saluran pembawa memperhatikan beda ketinggian atau elevasi dari daerah perencanaan. Jika daerah perencanaan datar maka perlu untuk membuat kemiringan/slope. Kemudian saluran pembawa harus

mampu menampung debit maksimal yang dihasilkan pada effluent limbah dan tidak timbul endapan saat debit minimum. Oleh karena itu untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan maka setiap 10 m dibuat bak kontrol.

Saluran pembawa terdiri dari saluran terbuka dan tertutup (pipa). Pada saluran terbuka biasanya terbuat dari cor beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran seperti pada **Gambar 2.1**. Karena terbuka sehingga terdapat kontak dengan udara langsung. Saluran terbuka memerlukan tempat yang luas dan biasanya digunakan untuk drainase air hujan atau limbah yang tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 1 Saluran Terbuka

(Sumber: https://www.youtube.com/watch?v=msDrYHc_mHw)

Sedangkan saluran tertutup (**Gambar 2.2**) digunakan untuk air limbah atau air kotor yang membahayakan kesehatan dan mengganggu keindahan. Air Limbah yang melalui saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh udara luar atau kontak langsung dengan udara. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).

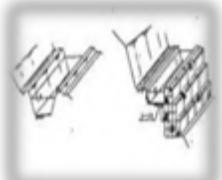
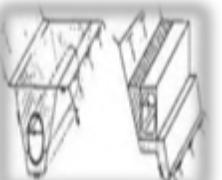


Gambar 2. 2 Saluran Tertutup

(Sumber: <https://asiacon.co.id/blog/pengertian-fungsi-ukuran-bak-kontrol-air>)

Tabel 2.2 berikut ini menjelaskan detail kelebihan dan kekurangan dari saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup.

Tabel 2. 2 Tipe-tipe Saluran Pembawa

Tipe	Gambar	Keuntungan & Permasalahan	Kekhasan Strukturnya
Saluran Pembawa Terbuka		<p>Keuntungan :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Relatif Murah 2. Mudah mengkonstruksinya <p>Permasalahan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kemungkinan aliran sedimen dari lereng di atasnya 2. Tingginya tingkat jatuh daun – daunan 	Jalur saluran (jalur pasangan batu basah atau kering, jalur beton), pagar saluran (terbuat dari kayu, beton, atau tembaga), jalur saluran berbentuk lembaran, saluran berbentuk setengah tabung (seperti pipa – pipa yang berbelok – belok, dll)
Pipa Saluran Tertutup		<p>Keuntungan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar 2. Rendahnya rata – rata sedimen dan daun – daunan yang jatuh di saluran <p>Permasalahan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya 	Tabungnya yang dipendam (hume, PVC, atau FRPM), <i>Box culvert</i> , Pagar saluran dengan tutupnya.

Tabel 2. 3 Koefisien Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefiesien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa besi tanpa lapisan	0,012 – 0,015
	Dengan lapisan semen	0,012 – 0,013
	Pipa berlapis gelas	0,011 – 0,017
2	Pipa asbestos semen	0,010 – 0,015
3	Saluran pasangan batu bata	0,012 – 0,017
4	Pipa beton	0,012 – 0,016
5	Pipa baja spiral dan pipa kelingan	0,013 – 0,017
6	Pipa plastik halus (PVC)	0,002 – 0,012
7	Pipa tanah liat (Vitrified Clay)	0,011 – 0,015

a) Kriteria Desain Saluran Pembawa

- Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
(*Metcalf & Eddy 4th edition, hal 316*)
- Slope = $1,10^{-3}$ m/m
- Freeboard = 5 – 30% dari H
(*Van Te Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 159*)
- Koefisien kekasaran pipa = 0,002 – 0,012 (PVC)
(*Van Te Chow, 1959, Open Channel Hydraulics, hal 109*)

b) Rumus yang Digunakan

- Luas Penampang pipa

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

Keterangan:

A = Luas permukaan

Q = Debit

v = kecepatan aliran

- Cek Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

v cek = cek kecepatan aliran (m/s)

Q = debit (m^3/s)

A = Luas permukaan (m^2)

- Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{A}{\text{Keliling Basah}}$$

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

A = Luas penampang (m^2)

- Slope (s)

Ep = Ek

$$m.g.h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

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

Keterangan:

Ep = Energi Potensial

Ek = Energi Kinetik

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)

h = ketinggian (m)

v = kecepatan (m/s)

- Headloss (Hf) = n x L

Keterangan:

n = Koefisien kekasaran Manning

L = panjang pipa

- Slope = H statis + Hf + Hf bar screen

Keterangan:

Slope = kemiringan

H statis = ketinggian statis

Hf = Headloss

Hf = Headloss bar screen

B. Bar Screen

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

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

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

Dalam sebuah unit bar screen, terdapat bermacam - macam jenis, di antaranya adalah:

- Coarse Screen (Penyaring Kasar)

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



Gambar 2. 3 Coarse Screen / Penyaring Kasar

(Sumber: <http://a3-environmental.com/waste-water/coarse-screen>)

Tabel 2. 4 Kriteria Perencanaan Coarse Screen

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
Ukuran Batang						
Lebar	Inch	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5-15	5-15
Kedalaman	Inch	1,0-1,5	1,0-1,5	mm	25-38	25-38
Jarak antar batang	Inch	1,0-2,0	0,6-3,0	mm	25-50	15-75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30-45	0-30	°	30-45	0-30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Minimum	Ft/s		1,0-1,6	m/s		0,3-0,5
Headloss	Inch	6	6-24	mm	150	150-600

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

- Fine Screen

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. Screen ini dapat digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Pre-Treatment) maupun pengolahan pertama atau utama (Primary Treatment). Penyaring halus (Fine Screen) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (Premilinary Treatment) adalah seperti, ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum), atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) yang dapat digunakan untuk

menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt. Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.



Gambar 2. 4 Rotary Drum Fine Screen

(Sumber: <https://www.watertechonline.com/doc/rotamat-rotary-drumfine-screen-0001>)

Tabel 2. 5 Jenis – jenis Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan		
	Klasifikasi ukuran	Range Ukuran					
		Inch	mm				
Miring (diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer		
	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan pedahuluan		
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer		
	Halus	-	6-35 µm	Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder		
Drum (Berputar)	Sedang	0,06	0,17	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan		
	Halus	0,0475	1200 µm	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa		
Horizontal Reciprocating Tangential							

- *Micro Screen*

Saluran pembawa digunakan untuk mengalirkan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Perencanaan saluran pembawa memperhatikan beda

ketinggian atau elevasi dari daerah perencanaan. Jika daerah perencanaan datar maka perlu untuk membuat kemiringan / slope. Kemudian saluran pembawa harus mampu menampung debit maksimal yang dihasilkan pada effluent limbah dan tidak timbul endapan saat debit minimum. Oleh karena itu untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan maka setiap 10 m dibuat bak kontrol.

a) Kriteria Desain *Manual Bar Screen*

- Bar Size
 - Lebar = 5 - 15 mm
 - Kedalaman = 25 – 38 mm
- Jarak antar sisi = 25 – 50 mm
- Kecepatan melalui bar = 0,3 – 0,6 m/s
- Headloss = 150 mm
- Freeboard = 5 – 30%
- Koefisien non clogging(C)= 0,7
- Koefisien clogging (Cc) = 0,6
- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/detik
(Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316)
- Slope dari vertikal = 75°

b) Rumus yang Digunakan

Berdasarkan Metcalf & Eddy untuk mengitung desain unit *manual bar screen* dilakukan tahap sebagai berikut:

Bak Kontrol

- Kedalaman bak total
 - $H_{total} = H + (20\% H)$
 - Keterangan:
 H = Kedalaman bak (m)

- Luas penampang bak
 - $A = B_{bak} + H$
 - Keterangan:
 A = Luas Penampang bak (m^2)
 B_{bak} = Lebar penampang bak (m)
 H = Kedalaman bak (m)

- Menghitung kecepatan melalui bak menggunakan persamaan kontinuitas
Dengan formula $A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$

$$\begin{aligned} A_1 \times v_1 &= A_2 \times v_2 \\ 0,0423 \text{ m}^2 \times 0,362 \text{ m/s} &= 0,035 \text{ m}^2 \times v_2 \\ v_2 &= 0,4531 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Keterangan :

A_1 = Luas penampang pipa (m^2)
 A_2 = Luas penampang bak control (m^2)
 v_1 = Kecepatan melalui pipa (m/s)
 v_2 = Kecepatan melalui bak kontrol (m/s)

- Dimensi bak kontrol

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

Keterangan:

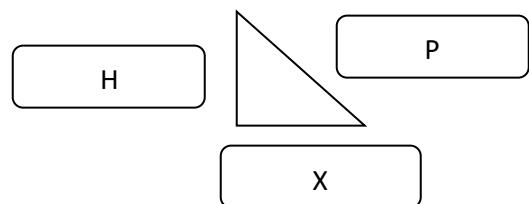
V = Volume bak (m^3)
 P = Panjang bak (m)
 L = Lebar bak (m)
 H = Kedalaman bak (m)

Bar Screen

- $P = H : \sin \theta$
 $X = P : \cos \theta$

Keterangan:

H = Kedalaman bak
 P = Panjang sisi miring
 X = panjang alas



- Jumlah Kisi (n)
Lebar saluran (B)

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

Keterangan:

n = jumlah kisi
 d = Lebar kisi (m)
 r = jarak antar kisi (m)

- Lebar Bukaan kisi

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

Keterangan:

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar bak

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

- Kecepatan melalui kisi

$$v_i = Q : (W_c \times H_{air})$$

Keterangan:

v_i = kecepatan melalui kisi (m/s)

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

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

H_{air} = Kedalaman air (m)

- Headloss (H_f) pada bar screen

Saat non clogging

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

Keterangan:

H_f = Headloss saat clogging

C = Koefisien non Clogging

v_i = kecepatan melalui kisi (m/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)

Saat clogging

$$V_{clogging} = 2V_i$$

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

Keterangan:

H_f = Headloss

Cc = Koefisien Clogging

v_i = kecepatan melalui kisi (m/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 321)

C. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bak yang digunakan untuk menampung air limbah yang berasal dari saluran pembawa. Bak penampung juga sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan.

a) Kriteria Desain

- Freeboard (Fb) = 5 – 30 %
- Kecepatan (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Waktu detensi (Td) = 1 – 4 jam
- Tebal dinding = 20 cm (0,2 m)
- Kedalaman bak (H) = 1,5 – 2 m

b) Rumus yang Digunakan

Bak Penampung

- Volume bak
$$(V) = Q \times Td$$
Keterangan:
V : Volume air Limbah (m^3)
Q : Debit air limbah (m^3/s)
Td : Waktu detensi
- Ketinggian total bak penampung
- H total = $H + (20\% \times H)$

Keterangan:
H : kedalaman bak penampung (m)
H : ketinggian air dalam bak penampung (m)
Fb : tinggi jagaan/jarak vertical dari puncak saluran ke permukaan air (5-30%)

- Dimensi bak penampung
$$V = P \times L \times H$$
Keterangan:
V : Volume bak penampung (m)
P : Panjang bak (m)
L : Lebar bak (m)
H : Ketinggian bak (m)

- Cek waktu detensi

$$\text{Cek Td} = V_{\text{total}} \times Q$$

Keterangan:

2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)

A. Grease Trap

Penyisihan minyak dan lemak menggunakan grease trap dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya, grease trap terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisihkan berbagai jenis padatan dalam limbah: padatan dengan berat jenis lebih berat dari air akan mengendap sedangkan padatan dengan berat jenis lebih ringan dari air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air. Selanjutnya, kompartemen kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut terbawa air limbah mengalir menuju unit pengolahan selanjutnya.

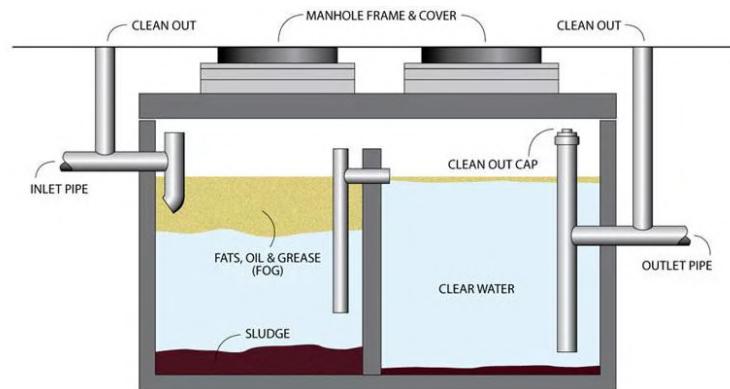
Minyak dan lemak yang tertahan tersebut harus dibersihkan secara berkala untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah terjadinya penyumbatan. Grease trap terdiri dari dua kompartemen, yaitu kompartemen pertama (2/3 dari total panjang) dan kompartemen kedua (1/3 dari total panjang).

Berikut ini adalah jenis-jenis Grease Trap yang paling umum :

1. Grease trap pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. Grease trap ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan gemuk akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
2. Tangki in-ground berukuran besar yang biasanya berukuran 500-2000 galon. Unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (gravity interceptors). Pencegat/trap memerlukan

waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, gemuk dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.

3. Sistem GRD (Grease Recovery Devices atau Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.



Gambar 2. 5 Unit Grease Trap

Sumber: <https://www.mahoneyes.com/services/grease-traps/how-grease-traps-work/>

a) Kriteria Desain

- Kecepatan aliran (v) = 2 – 6 m/jam
- Waktu tinggal (td) = 5 – 20 menit
Sumber: (Buku A IPLT. Dirjen Cipta Karya.tahun 2017. hal. 31)
- Massa jenis minyak = 804 kg/m³
- Massa jenis air, T 30 = 995,68 kg/m³ = 0,99568 g/cm³
Sumber: (Reynolds, Hal. 762)

b) Rumus yang Digunakan

- Volume

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

V : Volume bak grease trap (m^3)

Q : Debit air limbah (m^3/s)

Td : Waktu Detensi (detik)

- Luas area yang dibutuhkan

$$A = Q : v$$

Keterangan:

A : Luas area (m^2)

Q : Debit air limbah (m^3/s)

v : kecepatan aliran (m/s)

Rasio P:L = 3:1

$$A = P \times L$$

- Cek v

$$v = Q : A \text{ baru}$$

Keterangan:

v : kecepatan aliran (m/s)

Q : Debit air limbah (m^3/s)

A : Luas area (m^2)

- Panjang kompartmen 1

$$P1 = \frac{2}{3} \times P$$

Panjang kompartmen 2

$$P2 = \frac{1}{3} \times 6,18 \text{ m}$$

Keterangan:

P : panjang bak (m)

P1 : Panjang kompartmen 1 (m)

P2 : Panjang kompartmen 2 (m)

- Kedalaman bak

$$H \text{ aktif} = V : A$$

Keterangan:

H aktif : Kedalaman bak

V : Volume bak (m^3)

A : Luas area (m^2)

$$\begin{aligned}
 (H_p) \text{ tinggi area pengendapan} &= 0,3 \text{ m} \\
 (\text{Hs}) \text{ Tinggi Scum} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{jarak pipa dengan area pengendap} &= 0,2 \text{ m} \\
 \text{freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
 H \text{ total} &= H \text{ aktif} + H_p + \text{Hs} + \text{Fb}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan pengapungan

$$v' = \left(\frac{g}{18 \times \eta} \right) \times D^2 \times (\rho - \rho')$$

Keterangan:

v' : Kecepatan pengapungan (m/s)
 g : gravitasi
 η : viskositas dinamik minyak (poise)
 D : diameter partikel
 ρ : massa jenis air (kg/m^3)
 ρ' : massa jenis minyak (kg/m^3)

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan:

L : Lebar bak (m)
 H : Ketinggian bak (m)

- Cek bilangan Reynold

$$Nre = \frac{\rho \times R \times v'}{\mu}$$

Keterangan:

Nre : Bilangan Reynold
 ρ : massa jenis air (kg/m^3)
 R : jari-jari hidrolis (m)
 v' : kecepatan pengapungan (cm/s)

B. Bak Koagulasi - Flokulasi

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan.

Bak pengendap awal adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengedapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2016).

Segera 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 dapat digambarkan secara skematik gambar di bawah ini. 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. Pemilihan koagulan dan konsentrasiya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jartest apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi & Abdul F.Assomadi, 2016).

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

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya Van Der Walls dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grupgrup reaktif pada koloid
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain :

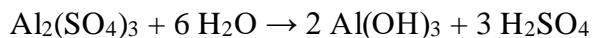
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan
- Jumlah dan karakteristik koloid
- Derajat keasaman air (pH)
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle
- Temperatur air

- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur
- Karakteristik ion-ion dalam air

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

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

Alumunium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$. Mekanisme koagulasi ditentulkan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut :



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

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

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

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

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

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

5. Koagulan Sodium Aluminate (NaAlO_2)

Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal.

Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash

6. Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

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

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

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Pengadukan Cepat

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

2. Pengadukan Lambat

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

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan

menjadi 2, yaitu:

1. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling).

- Paddle Impeller

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

- Turbine Impeller

- Propeller Impeller

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

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

2. Pengadukan hidrolis

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

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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/baffle channel, perforated wall, gravel bed dan sebagainya (Reynolds & Richards, 1996).

a) Kriteria Desain

Bak Pembubuh dan Koagulasi

Massa jenis PAC	= 1,23 kg/L
Massa jenis air	= 996,26 kg/m ³
viskositas absolut	= 0,0008004 N.s/m ²
Waktu detensi (Td)	= 20 - 60 detik
Nre	= >10000 (turbulen)
Gradien kecepatan (G)	= 700 - 1000 per detik
Kecepatan putaran impeller (n)	= 20 - 150 rpm
Jarak impeller dari dasar	= 30 - 50 % Di
Lebar impeller	= 1/6 - 1/10 diameter bak
Diameter Impeller	= 50% - 80 % diameter bak
H bak	= 1 - 1,25 diameter bak

Bak Flokulasi

Waktu Tinggal	= 15 - 45 menit
Gradien Kecepatan (G)	= 70 – 100 /s
(Sumber: Reynolds, Tom. D & Richard C. 2003, halaman 182)	
Kecepatan pengadukan	= 20 – 150 rpm
Tinggi bak (h)	= 1,25 diameter bak
Diameter Impeller (Di)	= 50 - 80% diameter bak
Lebar paddle	= 1/6 - 1/10 D
Nre Laminer	<2000
Nfr	>10^5
Massa jenis air (ρ), T (30°C)	= 0,996 g/cm ³
(Sumber: Reynold Richard, Unit Operation and Process in Environmental Engineering, 2nd edition, 1996)	

b) Rumus yang Digunakan

Bak Pembubuh Koagulan

- Kebutuhan PAC = Dosis PAC × Q

Keterangan:

Q : Debit air limbah (m³/s)

- Kadar kebutuhan koagulan sesungguhnya

$$\text{Kadar koagulan} = \frac{100\%}{\% \text{ pelarutan air}} \times \text{kebutuhan PAC}$$

Keterangan :

Kadar Koagulan (kg/hari)

Pelarutan air (%)

- Debit PAC

$$Q \text{ PAC} = \frac{\text{Kadar Kebutuhan Koagulan sesungguhnya}}{\text{Massa jenis PAC}}$$

Keterangan :

Q PAC : Debit PAC (m³/hari)

Kadar kebutuhan koagulan (kg/hari)

Massa jenis PAC (kg/L)

- Kebutuhan Air

$$\text{Air} = \frac{100\% - \text{persen pelarutan}}{\text{persen pelarutan} \times Q \text{ PAC}}$$

- Debit bak total

$$Q_{\text{bak total}} = \text{Kebutuhan PAC} + \text{Kebutuhan air}$$

Keterangan :

$Q_{\text{bak total}}$: Debit bak total (m^3/hari)

Kebutuhan air (m^3/hari)

Kebutuhan PAC (m^3/hari)

- Volume Tangki pembubuh (dilakukan 1 hari)

$$V_{\text{tangki}} = \text{Debit bak total} \times \text{periode pelarutan}$$

Keterangan :

V_{tangki} : Volume tangki (m^3)

Debit bak total (m^3/hari)

periode pelarutan (hari)

- Daya Pengadukan

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

Keterangan:

P : Daya pengadukan (kW)

G : Gradien kecepatan (/s)

μ : Viskositas absolut (N s/m^2)

V : Volume bak (m^3)

- Jarak Impeller dengan Dasar

$$H_i = 40\% \times D_i$$

Keterangan:

H_i : Jarak impeller dengan dasar (m)

D_i : Diameter tangki (m)

- Cek diameter Impeller

$$\text{Cek D Impeller} = \left(\frac{\text{Diameter Impeller}}{\text{Diameter Tangki}} \right) \times 100$$

Keterangan:

Cek D Impeller (m)

Diameter Impeller (m)

Diameter tangki (m)

- Cek Nre

$$Nre = \frac{(\text{Diameter Impeller})^2 \times \text{Kec.Impeller pembubuh} \times \text{massa jenis air}}{\text{viskositas dinamik}}$$

Keterangan:

Diameter impeller (m)
 Kecepatan impeller pembubuh (rps)
 Massa jenis air (kg/m^3)
 Viskositas absolut (N s/m^2)

Bak Koagulasi

- V air limbah

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

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

Q : debit air limbah (m^3/s)

T_d : Waktu detensi (detik)

- V Koagulan = Q koagulan $\times T_d$

Keterangan:

V : volume koagulan (m^3)

Q : Debit koagulan (m^3/s)

T_d : Waktu detensi (detik)

- Volume total

- V total = V limbah + V koagulan

Keterangan:

V total ; Jumlah volume limbah dan koagulan (m^3)

V limbah : volume air limbah (m^3)

V koagulan: volume koagulan (m^3)

- Daya Pengadukan

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

Keterangan:

P : Daya pengadukan (kW)

G : Gradien kecepatan ($/\text{s}$)

μ : Viskositas absolut (N s/m^2)

V : Volume bak (m^3)

- H dalam air

- H air = $\frac{V \text{ total}}{A}$

Keterangan :

H air : Ketinggian air (m)

V total : Jumlah volume limbah dan koagulan (m^3)

A : Luas pemukaan (m^2)

- Freeboard

$$F_b = H_{bak} - H_{air}$$

F_b : Freeboard (m)

H_{bak} : Ketinggian bak (m)

H_{air} : Ketinggian air (m)

Bak Flokulasi

- Volume bak

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

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

Q : debit air limbah (m^3/s)

T_d : Waktu detensi (detik)

- Dimensi bak

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

$$H = 1 - 1,25 D$$

$$H_{total} = H + 20\% H$$

- Daya Pengaduk

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

Keterangan:

P : Daya pengadukan (kW)

G : Gradien kecepatan (/s)

μ : Viskositas absolut (N s/m²)

V : Volume bak (m^3)

- Diameter Impeller

$$\text{Cek } D_{Impeller} = \left(\frac{Diameter\ Impeller}{Diameter\ Tangki} \right) \times 100$$

Keterangan:

Cek D Impeller (m)

Diameter Impeller (m)

Diameter tangki (m)

- Jarak Impeller dengan dasar

$$H_i = 40\% \times D_i$$

Keterangan:

H_i : Jarak impeller dengan dasar (m)

D_i : Diameter tangki (m)

- Lebar Impeller

$$Wi = \frac{1}{x} \times D_{\text{impeller}}$$

Keterangan:

Wi : lebar impeller (m)

Di : Diameter impeller (m)

Lebar impeller : 1/6 – 1/10

- Cek bilangan reynold

$$Nre = \frac{(\text{Diameter Impeller})^2 \times \text{Kec.Impeller pembubuh} \times \text{massa jenis air}}{\text{viskositas dinamik}}$$

Keterangan:

Diameter impeller (m)

Kecepatan impeller pembubuh (rps)

Massa jenis air (kg/m^3)

Viskositas absolut (N s/m^2)

C. Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengedapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi . Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan coloumn settling test dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval (Masduqi & Assomadi, 2016).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi 1 dipengaruhi oleh:

- Aliran angin
- Suhu udara permukaan
- Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air
- Suhu terstratifikasi

- Bilangan Eddy (dinamika fluida)

Pada tangki sirkular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur 45 biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1- 2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

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, 2003).

Bak sedimentasi bentuk Rectangular terbagi menjadi empat zona, yaitu :

- 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).

- Zona pengendapan Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh dua faktor, yaitu : 1. Karakteristik partikel tersuspensi. 2. Overflow rate. 3. Dan efisiensi Bak.
- Zona lumpur

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, 2017).

- 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.

a) Kriteria Desain

Zona Pengendapan (Settling Zone)

Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam

Overflow rate (Ofr) = 30 – 50 m³/m². hari

Weir Loading = 125 – 500 m³/m². hari

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

Specify Gravity Sludge (Sg) = 1,03

Specify 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) > 10-5

(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)

Kontrol penggerusan (Scouring) :

- Faktor kisi porositas (β) = 0,02 – 0,12

- Faktor fraksi hidrolis (α) = 0,03 m

Bilangan Reynold

- Kecepatan aliran < 2000 (laminer)

- Kecepatan pengendapan < 1 (laminer)

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

Zona Inlet

Kecepatan aliran (v) = 0,3 - 0,6 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hlm. 316)

Slope maksimal < 0,002 m/m

< 2%

freeboard(Fb) = 10%-30%

Zona Transisi

Koefisien manning (n) = 0,013

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

Berat jenis air = 996,26 kg/m³

Viskositas dinamik (μ) = $0,8363 \times 10^{-3}$ N s/m²

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)

Zona Sludge

Berat jenis air (ρ_w) = 996,36 kg/m³

Berat jenis lumpur (ρ_s) = 2650 kg/m³

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

spesific solid (Ss) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Zona Outlet

Kecepatan aliran pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/s

Weir Loading Rate = 125 – 500 m³/m.hari

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

Koefisien drag (Cd) = 0,548

Sudut V notch = 45°

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

Koefisien manning (n) = 0,013

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

b) Rumus yang Digunakan

Zona Pengendapan (Settling Zone)

- Volume Sedimentasi

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

Q : debit air limbah (m^3/s)

Td : Waktu detensi (detik)

- Dimensi Bak Sedimentasi

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

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

Keterangan:

V : Volume air limbah (m^3)

L : Panjang bak (m)

W : Lebar Bak (m)

H : Ketinggian air (m)

H total: Tinggi bangunan (m)

- Cek waktu detensi

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

Keterangan:

Td : Waktu detensi (detik)

V : volume air limbah (m^3)

Q : debit air limbah (m^3/s)

- Massa jenis partikel flok

$$\rho = 1,03 \times \text{massa jenis air limbah}$$

- Diameter Partikel

$$D_p = \left(\frac{\nu s \times 18 \times v}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5}$$

Keterangan:

D_p : Diameter partikel

v : viskositas kinematik (m^2/s)

g : gravitai (m/s^2)

S_s : Specify Gravity Solid

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan:

R : Jari-jari Hidrolis (m)

W : Lebar Bak (m)

H : ketinggian bak (m)

- Kecepatan horizontal partikel

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

Keterangan:

Vh : Kecepatan horizontal partikel (m/s)

Q : debit air limbah (m³/s)

W : Lebar Bak (m)

H : ketinggian bak (m)

- Cek bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{vh \times R}{v}$$

Keterangan:

Nre : bilangan Reynold

- vh : Kecepatan horizontal partikel (m/s)

R : Jari-jari hidrolis (m)

v : viskositas kinematik (m²/s)

- Cek bilangan Froud (Nfr)

$$Nfr = \frac{vh^2}{g \times h \text{ total}}$$

- Cek kecepatan penggerusan (V scouring)

$$v \text{ scouring} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times (sg-1)gd}{f}}$$

Keterangan:

v scouring : kecepatan penggerusan (m/s)

β : faktor kisi porositas

sg : Specify Gravity Sludge

Zona Inlet

- Luas permukaan saluran

$$A = Q/v$$

Keterangan:

- A : luas permukaan (m^2)
 Q : Debit air limbah (m^3/s)
 v : kecepatan aliran (m/s)

- Dimensi Bak

$$A = W \times L$$

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

Keterangan :

- A : Luas permukaan (m^2)
 W : Lebar (m)
 L : panjang (m)
 H : ketinggian air (m)
 H_{total} : ketinggian bangunan (m)

- $V_{\text{cek}} = \frac{Q}{L \times W}$

Keterangan:

- v_{cek} : cek kecepatan aliran (m/s)
 Q : debit air limbah (m^3/s)
 L : panjang bak (m)
 W : lebar bak (m)

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan:

- R : Jari-jari Hidrolis (m)
 W : Lebar Bak (m)
 H : ketinggian bak (m)

- Slope saluran

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

Keterangan:

- S : Slope saluran (m/m)
 n : kekasaran pipa
 v : kecepatan aliran (m/s)
 R : jari-jari hidrolis (m)

Zona Sludge

- Parameter yang terendapkan di zona sludge
 $TSS = TSS \text{ Influent} \times \% \text{ removal}$
- Lumpur yang dihasilkan/berat Lumpur
 $Ws = Q \text{ limbah} \times \text{total solid yang mengedap}$
Keterangan:
 Ws : berat Lumpur (kg/hari)
 Q : debit air limbah (m^3/hari)
Total solid (kg/m^3)
- Berat air
 $= \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar padatan dalam lumpur}} \times \text{lumpur dihasilkan}$
- Berat jenis lumpur
 $\rho_l = (\text{berat jenis SS} \times 10\%) + (\text{berat jenis air} \times 90\%)$
Keterangan:
 ρ_l : berat jenis lumpur (kg/m^3)
 ss : Solid sludge (kg/m^3)
- Volume lumpur
 $V_{\text{lumpur}} = \frac{\text{lumpur yang dihasilkan} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur}} \times \text{waktu penguras}$
Keterangan:
Lumpur yang dihasilkan (kg/hari)
Berat air (kg/hari)
Berat jenis lumpur (kg/hari)
Waktu pengurasan (hari)
- Dimensi Zona Sludge
Luas permukaan lumpur
 $A_1 = p \text{ muka zona atas lumpur} \times L \text{ muka zona lumpur}$
Luas permukaan dasar
 $A_2 = P \text{ dasar zona lumpur} (L') \times L \text{ dasar zona lumpur} (B')$
- Volume zona sludge
 $V = 1/3 \times H \times A_1 + A_2 \sqrt{(A_1 + A_2)}$
Keterangan:
 V : volume zona sludge (m^3)
 H : ketinggian bangunan (m)
 A_1 : Luas permukaan lumpur (m)
 A_2 : Luas permukaan dasar (m)

- Debit pipa penguras sludge (Q_p)

$$Q_p = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

Zona Outlet

- Q unit outlet = Q limbah – Q pengurasan sludge

- Panjang total weir

$$L_w = Q/WRL$$

Keterangan:

L_w : panjang total weir

Q : Debit air limbah (m³/s)

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

Keterangan:

Q : debit air limbah (m³/s)

- Panjang pelimpah

$$L_p = \frac{L_w}{jumlah pelimpah}$$

Keterangan:

L_p : Panjang pelimpah

L_w : panjang total weir

- Luas saluran pelimpah

$$A = Q/v$$

Keterangan:

A : luas permukaan (m²)

Q : debit air limbah (m³/s)

v : kecepatan aliran (m/s)

- Tinggi pelimpah

$$H_p = \sqrt{2 \times A \text{ saluran pelimpah}}$$

- Lebar pelimpah

$$W_p = 2 \times \text{tinggi pelimpah}$$

- Ketinggian air gutter

$$h_{\text{air}} = \left(\frac{Q \text{ pelimpah}}{1,38 \times \text{lebar pelimpah}} \right) 2/3$$

- Ketinggian gutter total

$$H_{\text{total}} = h_{\text{air}} + (20\% \times h_{\text{air}})$$
- Lebar saluran gutter

$$W = 2 \times h_{\text{total gutter}}$$
- Jari-jari hidrolis gutter

$$R = \frac{h_{\text{air}} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h_{\text{air}}) + \text{lebar gutter}}$$
- Luas basah gutter

$$A_{\text{basah gutter}} = \text{Lebar gutter} \times h_{\text{muka air}}$$
- Slope gutter

$$S = \left(\frac{Q_{\text{outlet}} \times n}{A_{\text{basah gutter}} \times R_{\text{hidrolis}}^2 / 3} \right)^2$$

Keterangan:

 - S : slope (m/m)
 - Q : debit pelimpah (m^3/s)
 - n : kekasaran pipa
 - A : luas permukaan (m^2)
 - R : jari-jari hidrolis (m)
- Headloss gutter

$$H_f = \text{panjang pelimpah} \times \text{Slope gutter}$$

D. Bak Ekualisasi

Fungsi bak ekualisasi adalah untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang. Dalam prosesnya, bak ekualisasi sering digunakan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pengolahan air buangan yang terjadi akibat adanya fluktuasi konsentrasi beban pencemar. Bak ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak penampung atau saluran (Metcalf & Eddy, 2003).

Keuntungan proses ekualisasi untuk mengolah air limbah adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis.
2. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia
3. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
4. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
5. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.
6. Pencampuran selalu diberikan pada proses ekualisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD (10- 20% tersisihkan) oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Untuk metode yang digunakan pada proses pencampuran ialah distribution of inlet flow and baffle, turbine mixing, diffused air aeration, dan mechanical aeration (Reynold, 1996).

Bak ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran. Debit atau aliran serta konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003). Cara kerja dari unit ini adalah saat air limbah sudah dialirkan melalui bak sedimentasi, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak ekualisasi agar debitnya konstan.

a) Kriteria Desain

Waktu detensi (td) = 1 – 4 jam

Sumber: (Reynolds, Tom D., Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 161)

Freeboard = 5 - 30%

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

Kecepatan aliran output (v) = 0,3 – 0,6 m/s

Sumber: (Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*, page 316. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

Koefisien kekasaran aksesoris pipa (K):

- Elbow 90° = 0,3
- Gate Valve = 0,2
- Check Valve = 2,5

- Tee = 1,00
- Increaser = 0,5

Sumber: ((M. Noerbambang & Morimura, 2005) Halaman 76)

b) Rumus yang Digunakan

- Volume Bak ekualisasi

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

Q : debit air limbah (m^3/s)

Td : Waktu detensi (detik)

- Dimensi bak ekualisasi

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

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

P : panjang bak (m)

L : lebar bak (m)

H : ketinggian air (m)

- Kedalaman total

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

Keterangan:

H total : tinggi bangunan (m)

H : tinggi air (m)

- Kebutuhan oksigen

$$\text{Kebutuhan DO} = \text{DO air buangan} - \text{DO minimum}$$

Keterangan:

DO : *Dissolved Oxygen (mg/L)*

- Kebutuhan oksigen = $\frac{Q \times \text{kebutuhan DO}}{\text{efisiensi transfer oksigen}}$

Keterangan:

Q : debit air limbah (m^3)

DO : *Dissolved Oxygen (mg/L)*

2.2.3 Secondary Treatment

A. Activated Sludge

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

➤ Konvensional

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

- Tangki aerasi

Pada saat oksidasi aerobik material organik dilakukan dalam tangki ini, Efluent pertama masuk dan tercampur dengan Lumpur Aktif Balik (LAB) atau (Return Activated Sludge = RAS) membentuk lumpur campuran (mixed liquor), yang mengandung padatan tersuspensi sekitar 1.500-2.500 mg/L. Aerasi dilakukan secara mekanik. Karakteristik proses lumpur aktif adalah adanya daur ulang dari biomassa. Keadaan ini membuat waktu tinggal sel (biomassa) menjadi lebih lama dibanding waktu tinggal hidrauliknya (Sterritt dan Lester, 1988). Keadaan ini membuat sejumlah besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik secara singkat. Waktu tinggal di tangki aerasi berkisar 4 - 8 jam.

- Tangki sedimentasi

Tangki ini digunakan untuk sedimentasi flok mikroba (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi. Seperti disebutkan diawal bahwa sebagian dari lumpur dalam tangki penjernih didaur ulang kembali dalam bentuk LAB ke dalam tangki aerasi dan sisanya dibuang untuk menjaga rasio yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (F/M

Ratio). Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif adalah sebagai berikut:

a. Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

Isi tangki aerasi dalam sistem lumpur aktif disebut sebagai mixed liquor yang diterjemahkan sebagai lumpur campuran. MLSS merupakan jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme. MLSS ditentukan dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter dikeringkan pada temperatur 105°C, dan berat padatan dalam contoh ditimbang

b. Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)

Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence, 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600 - 650°C

c. Food to microorganism ratio (F/M Ratio)

Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk ke dalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari.

➤ Non-Konvensional

- Step Aeration

- Termasuk type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme yang menurun menuju outlet.
- Pada inlet air buangan akan masuk melalui 3 – 4 titik tangki aerasi yang bertujuan menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dalam mengurangi tingginya kebutuhan oksigen dititik yang paling awal.
- Keuntungan dari step aeration ialah memiliki waktu detensi yang lebih pendek.

- *Tampered Aeration*

Sama dengan step aerasi, namun pada tampered aerasi ini memiliki injeksi udara di titik awal yang lebih tinggi

- *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu :

- *Contact tank*, berfungsi untuk mengabsorbsi bahan organik agar dapat memproses lumpur aktif
- *Reaeration tank*, berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah di adsorbs (proses stabilisasi)

a) **Kriteria Desain**

Umur lumpur (θ_c) = 4 - 10 hari

Rasio F/M = 0,2 – 0,5 kg BOD5/kg MLVSS.d

Hydraulic Detention Time (HDT) = 6 – 8 jam

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 6)

Rasio VSS/SS = 0,7 – 0,85

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

Partikulat BOD = 0,45 – 0,65 mg BOD/mg TSS

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 29)

Yield Coefficient (Y) = 0,5 – 0,7 gr VSS/gr BOD5 removed

Endogenous Respiration Coefficient (Kd) = 0,06 – 0,10 gr VSS/gr VSS.d

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 20)

Standard Oxygenation efficiency = 1,8 kg O₂/kW.jam

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

Kedalaman bak aerasi (H) = 3 – 5,6 m

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 687)

Konsentrasi MLVSS (X_v) = 1500 – 3500 mg/L

Konsentrasi MLSS (X) = 2000 – 4000 mg/L

SS in return sludge = 8000 – 12000 mg/L

Rasio Resirkulasi lumpur (R = Q_r/Q) = 0,6 – 1

Biodegradable fraction of VSS (f_b) = 0,55 – 0,77

Jumlah O₂ di udara = 20,95%

(Sumber: https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/575/oksigen-sebagai-kebutuhan-dasar-manusia)

Kebutuhan O₂ = 0,8 – 0,94 kg O₂/kg BOD removed

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 205)

Specific gravity solids (S_s) = 1,25

Specific gravity sludge (S_g) = 1,005

Konsentrasi padatan pada lumpur berlebih (C) = 2 - 5 %

Waktu detensi (td) = 6 – 8 jam

Nilai koefisien :

- Rata-rata penggunaan substrat (k) = 2 - 10 hari
- Konsentrasi substrat (ks) = 25 - 150 mg/L.BOD

Koefisien endogenous (kd) = 0,025 - 0,075 hari

b) Rumus yang Digunakan

Bak Activated Sludge

- Koefisien Kinetik pada Suhu 30°C

Koefisien endogeneous

$$(kd) = Kd 20 \times \theta(T-20)$$

Keterangan:

Kd : Koefisien endogeneous (hari)

T : suhu (°C)

Koefisien batas pertumbuhan

$$Y = Y 20 \times \theta(T-20)$$

Keterangan:

Y : Yield Coefficient

Rata-rata penggunaan substrat

$$k = K 20 \times \theta(T-20)$$

Konsentrasi substrat (ks)

$$ks = Ks 20 \times \theta(T-20)$$

- Partikulat BOD di effluent

$$\text{BOD partikulat} = (\text{VSS}/\text{SS}) \times fb$$

- BOD lolos

$$Cr = \text{BOD influent (Co)} - \text{BOD teremoval (Co)}$$

- Rasio Resirkulasi (R)
$$= \frac{MLVSS\ Activated\ Sludge}{MLVSS\ clarifier - MLVSS\ Activated\ Sludge}$$
- Debit resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R$$

Keterangan:
 Qr : debit resirkulasi ($m^3/detik$)
 Qo : debit air limbah ($m^3/detik$)
 R : Rasio resirkulasi
- Konsentrasi BOD dalam bak AS

$$C_{in} = \frac{(Q_o \times C_o) + (Q_r \times C_r)}{(Q_o + Q_r)}$$

Keterangan:
 C in : konsentrasi BOD masuk (kg/m^3)
 Qo : Debit air limbah ($m^3/hari$)
 Co : BOD masuk (kg/m^3)
 Qr : Debit resirkulasi ($m^3/hari$)
 Cr : BOD lolos (kg/m^3)
- Debit yang masuk ke bak Activated Sludge

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

Keterangan:
 Q in : Debit air limbah total ($m^3/hari$)
 Qo : Debit air limbah masuk ($m^3/hari$)
 Qr : Debit air limbah resirkulasi ($m^3/hari$)
- Volume Bak Activated Sludge

$$V = \frac{Q_o \times BOD\ in}{F/M\ rencana \times MLSS}$$

Keterangan:
 V : volume bak
 Qo : debit air limbah ($m^3/hari$)
 BOD in : konsentrasi BOD limbah (kg/m^3)
- Dimensi bak Activated Sludge

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

Keterangan:
 V : volume bak (m^3)
 P : Panjang bak (m)
 L : lebar bak (m)
 H : tinggi air (m)

- $H_{total} = H + F_b$

Keterangan:

H_{total} : Ketinggian bangunan (m)

H : tinggi air

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan:

R : Jari-jari hidrolis (m)

L : panjang bak (m)

H : lebar bak (m)

- Waktu Tinggal

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

Keterangan:

T_d : Waktu tinggal (jam)

V : Volume bak (m^3)

Q : debit limbah (m^3/s)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur SS

$$X_r = \frac{X \cdot (1+R)}{R}$$

Keterangan:

- X_r : Konsentrasi resirkulasi lumpur SS (mg/L)

X : konsentrasi MLVSS (mg/L)

R : Rasio resirkulasi

- Penyisihan beban BOD (BOD load removed)

$$S_r = Q_{in} \times (C_{in} - C_r)$$

Keterangan:

S_r : Penyisihan beban BOD (kg/hari)

Q_{in} : Debit air limbah masuk (m^3/s)

C_{in} : BOD inlet (kg/m^3)

C_r : BOD lolos (kg/m^3)

- Produksi Lumpur MLVSS

$$P \times V_{MLVSS} = Q_{in} \times Y_{obs} \times (S_{o-S}) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

Keterangan:

So : BOD influent (mg/L)

S : BOD effluent (mg/L)

- Produksi lumpur MLSS

$$P \times (\text{MLSS}) = \frac{P \times V \times (\text{MLVSS})}{\text{rasio}_{\text{VSS}}_{\text{SS}}}$$

- Debit lumpur

$$Q_s = \frac{P \times V \times (\text{MLVSS})}{X}$$

- Debit lumpur yang dibuang (melalui reaktor)

$$Q_{\text{ex}} = \frac{V_{\text{bak}}}{\theta_c}$$

Keterangan:

Q ex : Debit lumpur yang dibuang (m³/hari)

V bak : volume bak (m³)

θc : Umur lumpur (hari)

- Debit lumpur yang melalui resirkulasi

$$Q_{\text{ex}} = \frac{V_{\text{bak}}}{\theta_c} \times \frac{X}{X_r}$$

Volume Udara untuk Aerasi

- Kebutuhan Udara:

Kebutuhan Kosigen

$$R_{\text{Oksigen}} = Q_{\text{in}} \times (S_o - S) - 1,42 \times P$$

Keterangan:

Q in : debit air limbah (m³/s)

S_o : BOD influent (mg/L)

S : BOD effluent (mg/L)

P : produksi lumpur MLVSS

$$\text{Keb. udara teoritis} = \frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{(\rho_{\text{udara}} \times \% \text{ O}_2 \text{ di udara})}$$

$$\text{Keb. udara aktual} = \frac{\text{Jumlah keb.udara teoritis}}{\text{efesiensi transfer O}_2}$$

B. Biofilter Anaerobik

Menurut Morel dan Diener (2006) Anaerobic Filter adalah Pengolahan air limbah terlekat menggunakan biofilm yang bertujuan untuk menyisihkan padatan

yang tidak dapat mengendap dan padatan terlarut. Anaerobic Filter menggunakan tangki yang memiliki permukaan luas untuk melekatkan bakteri. Ketika air limbah mengalir melewati Filter biasanya dari bawah ke atas (upflow), air limbah akan melakukan kontak dengan biomassa pada Filter dan mengalami degradasi anaerobic

Media Filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media Filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang (Sasse, 1998). Media yang paling efektif untuk bioFilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon (Said & Hartaja, 2015).

Tabel 2. 6 Luas Permukaan Spesifik

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1	Trickling Filter dengan batu pecah	100-200
2	Modul sarang tawon (honeycomb modul)	150-240
3	Tipe jaring	50
4	RBC	80-150

Sumber: (Nusa Idaman, 2000) Pengolahan Air Limbah dengan Proses BioFilter Anaerob-Aerob. Jurnal Teknologi Lingkungan, 1(2).)

a) Kriteria Desain

1 unit biofilter anaerobik

Waktu tinggal (Td) = >6 jam

Tinggi ruang lumpur = 0,5-1,5m

Beban BOD/Volume media = 0,4-4,7 kg/BOD/m³ .hari

Beban BOD/Satuan permukaan media (LA) = 5-30g/m² .hari

Tinggi ruang (bed) media pemberian mikroba = 0,9-1,5m

Media biofilter yang digunakan

- Tipe = Hexagonal Bee comb (Sarang tawon)
- Material = Sarang Tawon
- Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
- Luas Kontak Spesifik = 150-226m² /m³
- Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
- Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas rongga = 0,98 = 98%

(Sumber: Said, N.I.Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi.

Halaman: 302. Jakarta: Erlangga)

b) Rumus yang Digunakan

- Beban BOD di dalam air limbah
Beban BOD = Debit limbah x BOD inlet
- Volume media
$$V_{\text{Media}} = \frac{\text{Beban BOD air}}{\text{Beban BOD per volum media}}$$
- Volume reaktor
$$V_{\text{reaktor}} = \text{persen volume media} \times V_{\text{media diperlukan}}$$

Keterangan:
V reaktor (m³)
Persen volume media (%)
V media yang diperlukan (m³)
- waktu tinggal
$$T_d = V_{\text{reaktor}}/\text{debit limbah}$$

Keterangan:
Waktu tinggal (hari, jam)
V reaktor (m³)
Debit limbah (m³/s)
- Dimensi reaktor
Lebar L

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 2L \\ V_{\text{reaktor}} &= P \times L \times t \end{aligned}$$

Keterangan:

- P : Panjang (m)
- L : Lebar (m)
- t : tinggi (m)

- Dimensi Media

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 18,09 \text{ m} \\ \text{Lebar (L)} &= 9,04 \text{ m} \\ \text{Tinggi (t)} &= \frac{\text{Volume media}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\ \text{Volume Media} &= P \times L \times t \end{aligned}$$

Keterangan:

- P : Panjang (m)
- L : Lebar (m)
- t : tinggi (m)
- Volume (m^3)

- BOD loading per volume media

$$\text{BOD/volume} = \frac{\text{beban bod dalam air limbah}}{\text{volume media reaktor}}$$

Keterangan:

- BOD/volume (kgBOD/m^3 hari)
- Beban BOD dalam air limbah (kgBOD)
- Volume media reaktor (m^3)

- Volume lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{\text{beban lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

Keterangan:

- V_{lumpur} : volume lumpur (m^3)
- Densitas lumpur (kg/m^3)

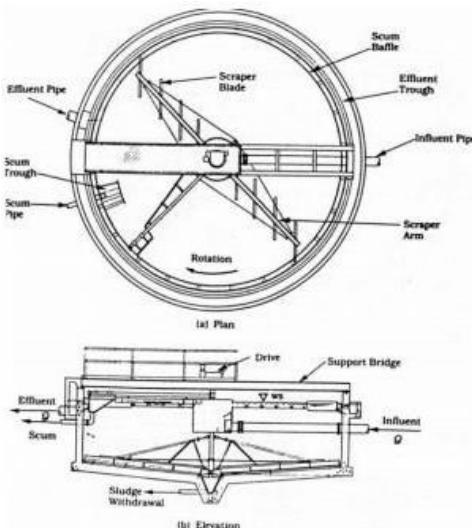
2.2.4 Tertiary Treatment

A. Clarifier

Menurut Morel dan Diener (2006) Anaerobic Filter adalah Pengolahan air limbah terlekat menggunakan biofilm yang bertujuan untuk menyisihkan padatan yang tidak dapat mengendap dan padatan terlarut. Anaerobic Filter menggunakan

tangki yang memiliki permukaan luas untuk melekatkan bakteri. Ketika air limbah mengalir melewati Filter biasanya dari bawah ke atas (upflow), air limbah akan melakukan kontak dengan biomassa pada Filter dan mengalami degradasi anaerobic

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses biologis sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk penggerak lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.



Gambar 2. 6 Secondary Clarifier

Sumber: Tom D. Reynold (1996)

a) Kriteria Desain

Diameter tangki	= 3 – 60 m
Waktu detensi	= 1,5 – 2,5 jam
Over Flow Rate (average flow)	= 30 – 50 m ³ /m ² .hari
Weir loading rate	= 125 – 150 m ³ /m ² .hari
Diameter inlet wall	= 15 – 20% Diameter tangki
Kedalaman tangki	= 3,5 – 6 m
Bilangan NRe	= Vs < 1 (laminar)
Bilangan NRe	= Vh < 2000 (laminar)

Bilangan NFr $= > 10^{-5}$
 Spesific gravity solids (Ss) = 1,3
 Spesific gravity sludge (Sg) = 1,005
 Ketinggian inlet wall = 0,5 – 0,7 m/s
 Kecepatan inlet wall = 0,3 – 0,75 m/s
 percepatan gravitasi (g)= 9,81 m/s²

b) Rumus yang Digunakan

Zona Settling

- Debit masuk clarifier

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

Keterangan:

Q in : Debit total (m³/hari)

Qo : Debit masuk (m³/hari)

Qr : Debit resirkulasi (m³/hari)

- Luas permukaan bak

$$A = \frac{Q_{in}}{OFR}$$

Keterangan:

A : Luas permukaan (m²)

Q in : Debit total (m³/hari)

OFR : Over Flow Rate (m³/m².hari)

- Diameter bak

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

$$r = \frac{D}{2}$$

Keterangan:

D : Diameter bak (m)

A : Luas permukaan (m²)

r : jari-jari (m)

- Cek Luas Surface Area

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

- Kedalaman Bak

$$H = \frac{Q_{in} \times t_d}{A}$$

- cek OFR

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

Keterangan:

OFR : Over Flow Rate ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$)

Q in : Debit total (m^3/hari)

A : Luas permukaan (m^2)

- Volume bak

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

Keterangan:

V : volume bak (m^3)

D : diameter (m)

H : ketinggian (m)

- Cek waktu detensi

$$\text{Cek Td} = \frac{V \text{ bak}}{Q \text{ in}}$$

Keterangan:

Td : waktu detensi (jam)

V bak : volume bak (m^3)

Q in : Debit total (m^3/hari)

- Kecepatan pengendapan

$$Vs = \frac{H}{Td}$$

Keterangan:

Vs : Kecepatan pengendapan (m/s)

H : kedalaman bak (m)

Td : waktu detensi (jam)

- Diameter partikel

$$D \text{ partikel} = \sqrt{\frac{Vs \times 18 \times v \text{ kinematis}}{g (Sg - 1)}}$$

Keterangan:

Vs : Kecepatan pengendapan (m/s)

V kinematis: viskositas kinematis

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Sg : Specific gravity sludge

- Cek NRe untuk Vs

$$NRe = \frac{\rho Sg \times D_{partikel} \times Vs}{\mu}$$

Keterangan:

ρSg : massa jenis sludge (kg/m^3)

Vs : Kecepatan pengendapan (m/s)

$D_{partikel}$: Diameter partikel (m)

- Kecepatan horizontal

$$Vh = \frac{Q \text{ in}}{\pi \times D_{bak} \times H}$$

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan:

R : jari-jari hidrolis (m)

r : jari-jari (m)

H : kedalaman (m)

- Cek NRe aliran

$$NRe = \frac{Vh \times R}{v_{kinematik}}$$

- Cek NFr

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

Keterangan:

NFr : Bilangan froud

Vh : Kecepatan horizontal (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

H : kedalaman (m)

- Kecepatan penggerusan

$$Vsc = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times d_{partikel} \times (Sg - 1)}{\lambda}}$$

Keterangan:

Sg : Specific gravity sludge

β : konstanta kohesi untuk saling mengikat

λ : faktor friksi Darcy – Weisbach

Zona Inlet

- Diameter inlet wall

$$D' = 20\% \text{ diameter bak}$$

- Kecepatan air di inlet wall

$$v = \frac{Q_{in}}{A}$$

Cek kecepatan pipa outlet

$$v = \frac{Q_{in}}{A}$$

Keterangan:

v : kecepatan aliran (m/s)

A : Luas permukaan (m^2)

Zona Thickening

- MLVSS dalam clarifier

$$\text{MLVSS clarifier} = \text{MLVSS total} - \text{MLVSS AS}$$

- Massa solid dalam clarifier

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

Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{\text{Massa solid dalam clarifier}}{X \cdot A}$$

Keterangan:

H : kedalaman (m)

X : MLVSS Activated Sludge

A : Luas permukaan (m^2)

Zona Sludge

Jari-jari permukaan

- jari-jari permukaan atas

$$R = \frac{D \text{ permukaan atas}}{2}$$

- Jari-jari permukaan bawah

$$r = \frac{D \text{ permukaan bawah}}{2}$$

Lumpur dari Activated Sludge

- Total lumpur
 $T_s = P_x \text{MLSS} \times \text{Waktu pengurasan}$
Keterangan:
 T_s : total lumpur (kg)
 $P_x \text{MLSS}$: MLSS dari Activated Sludge (kg/hari)
Waktu pengurasan (hari)
- Total massa lumpur pada bak clarifier
 $T_{ms} = T_s + \text{Massa solid clarifier}$
- Volume lumpur pada clarifier
 $VL = \frac{T_{ms}}{\text{massa jenis sludge}}$
Keterangan:
 VL : Volume lumpur (m^3)
 T_{ms} : Total massa lumpur (kg)
Massa jenis (kg/m^3)
- Berat jenis sludge = $S_g \times \text{massa jenis air}$
Keterangan:
 S_g : massa jenis sludge (kg/m^3)
Massa jenis air (kg/m^3)
Berat jenis sludge (kg/m^3)
- Berat sludge = Volume sludge x berat jenis sludge
Keterangan:
Berat sludge (kg)
Volume sludge (m^3)
Berat jenis sludge (kg/m^3)
- Debit lumpur
 $Q_s = \frac{\text{berat sludge}}{\text{berat jenis sludge}}$
- Volume air
 $V_{\text{air}} = 95\% \times VL$
Keterangan:
 V_{air} : volume air (m^3)

VL : volume lumpur clarifier (m^3)

- Berat air = Volume air x massa jenis air
- Volume solid
V solid = 5% x VL
- Berat jenis solid = S_s x massa jenis air
Keterangan:
Berat jenis solid (kg/m^3)
S_s : Spesific gravity solids
Massa jenis air (kg/m^3)
- Berat solid = Volume solid x berat jenis solid

Removal TSS

- TSS Tersisihkan = TSS influent x persen removal
- TSS effluent = TSS influent – TSS tersisihkan
- Massa TSS tersisihkan = TSS tersisihkan x Q in limbah
- Volume TSS tersisihkan = massa TSS tersisih/massa jenis solid
- Berat air tersisihkan = $\frac{\text{presentase air}}{\text{presentase solid}}$ x massa TSS tersisihkan
- Volume air
V air = $\frac{\text{berat air tersisih}}{\text{massa jenis air}}$
- Volume Sludge
V sludge = Volume TSS tersisihkan + Volume air
- berat jenis sludge = S_g x massa jenis air
- Berat sludge = Volume Sludge x berat jenis sludge
- Debit lumpur
Q_s = $\frac{\text{berat sludge}}{\text{berat jenis sludge}}$

Lumpur Total Clarifier

- Volume lumpur clarifier

$$V \text{ lumpur clarifier} = \text{Vol lumpur AS} + \text{Vol lumpur TSS}$$

- Debit lumpur Clarifier

$$Q_s \text{ clarifier} = Q \text{ lumpur AS} + Q \text{ lumpur TSS}$$

- Tinggi ruang lumpur

$$VL = 1/3 \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)$$

$$H = \frac{VL \times 3}{\pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)}$$

Keterangan:

VL : volume lumpur (m^3)

H : kedalaman (m)

R : jari-jari permukaan atas (m)

r : jari-jari permukaan bawah (m)

- Kedalaman total clarifier

$$H_{\text{total}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{sludge}}$$

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

Resirkulasi ke Activated Sludge

- Luas permukaan penampang

$$A = Q/v$$

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

$$v \text{ cek} = Q/A$$

Keterangan:

Q : debit masuk (m^3/s)

A : Luas permukaan (m^2)

D : diameter (m)

Lumpur Yang Dibuang Ke Sludge Collector

- Debit Pengurasan $= \frac{V \text{ lumpur}}{\text{Waktu pengurasan}}$
- Luas permukaan penampang dan kebutuhan pipa

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{v} \\ D &= \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \\ v \text{ cek} &= Q/A \end{aligned}$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} Q &: \text{debit masuk (m}^3/\text{s)} \\ A &: \text{Luas permukaan (m}^2\text{)} \\ D &: \text{diameter (m)} \end{aligned}$$

Zona Outlet

Weir dan v notch

- Panjang keliling weir
 - $L \text{ weir} = \pi \times D \text{ bak}$
 - Jumlah v notch
 - $N = \frac{L \text{ weir}}{\text{jarak antar v notch} + \text{lebar v notch}}$
 - Debit per v notch
- $$Q \text{ per v notch} = \frac{Q}{N}$$
- Tinggi air melalui v notch
- $$\begin{aligned} Q \text{ v notch} &= \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \tan(\frac{a}{2}) \times H_p^{5/2} \\ &= 3,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Keterangan:

$$Cd = 0,548$$

- Panjang basah tiap pelimpah

$$Li = \frac{2 Hp}{\tan(\frac{\alpha}{2})}$$

Keterangan:

Li : panjang basah pelimpah (m)

Hp : Tinggi air melalui v notch (m)

- Panjang basah total

$$Ln = N \times Li$$

Keterangan:

Ln : panjang basah total (m)

N : jumlah v notch (m)

Li : panjang basah pelimpah (m)

Saluran Pelimpah

- Luas permukaan

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

- Dimensi pipa

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

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

$$v \text{ cek} = Q/A$$

2.2.5 Sludge Treatment

A. Sludge Drying Bed

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:

- 1) *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau;
- 2) Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik;
- 3) Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

- Mereduksi kadar lumpur;
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Sludge Drying Bed merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. *Sludge Drying Bed* secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur / *sludge* yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (*landfill*) (metcalf & eddy, 2003). Keuntungan penggunaan *Sludge Drying Bed* diantaranya adalah:

1. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan;
2. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan;
3. Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan.

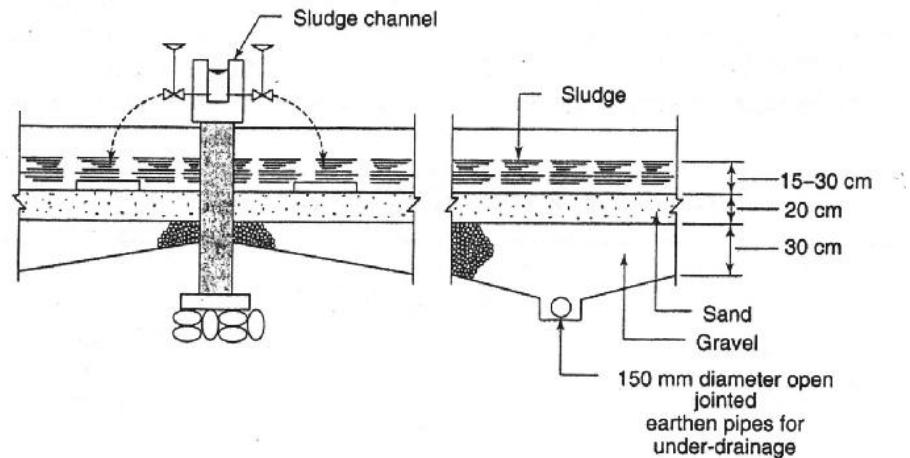
Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan *Sludge Drying Bed* seperti yang telah disebutkan di atas, *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya:

1. Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya;
2. Dibutuhkan lahan yang lebih luas.

Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge* / lumpur. Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya:

1. *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
2. *Paved Sludge Drying Bed*

3. Artificial Media Sludge Drying Bed
4. Vacuum Assisted Sludge Drying Bed
5. Solar Sludge Drying Bed



Gambar 2. 7 Skema Sludge Drying Bed

Sumber: Metcalf & Eddy (2003)

a) Kriteria Desain Sludge Drying Bed

Ketebalan lapisan lumpur (cake) = 200 – 300 mm

Media:

- Ketebalan lapisan pasir halus = 150 mm
- Ketebalan lapisan pasir kasar = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil halus = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil sedang = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil kasar = 75 – 150 mm

Kecepatan minimum pipa lumpur = 0,75 m/s

Waktu pengeringan lumpur = 5 – 15 hari

Kadar solid pada lumpur = 20 – 40%

Kadar air (P) = 60 – 80% (sisa dari kadar solid)

Berat air dalam lumpur (cake) (Pi) = 60 – 70%

Sludge loading rate = 120–150 kg/solid kering/m².tahun

b) Rumus Yang Digunakan

- Luas permukaan

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

- Volume total

$$V_{\text{total}} = V_b \times \text{jumlah bak}$$

Keterangan:

V_{total} : volume lumpur total (m^3)

V_b : volume lumpur tiap bed (m^3)

- Volume sludge cake tiap bed

$$V_i = \frac{V_b \times (1-P)}{1-P_i}$$

Keterangan:

V_i : Volume sludge cake tiap bed (m^3)

V_b : volume lumpur tiap bed (m^3)

P : Kadar air (P) (%)

P_i : Berat air dalam lumpur (cake) (%)

- Dimensi tiap bed

$$\begin{aligned} A &= \frac{V_b}{\text{tebal cake}} \\ A &= P \times L \end{aligned}$$

- Volume air tiap bed

$$V_a = \frac{V_{\text{lumpur total}} - (V_i \times \text{jumlah bed})}{\text{jumlah bed}}$$

- Kedalaman underdrain

$$H = \frac{V_a}{P \times L}$$

- Kedalaman total

H_{total} = tebal media + h underdrain

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

- Jari-jari hidrolis

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

- Debit pipa underdrain

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

2.3 Persen Removal

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 tepung tapioka dapat dilihat pada **Tabel 2. 7**

Tabel 2. 7 Persen Removal

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
<i>Pre Treatment</i>			
Saluran Pembawa	-	-	-
<i>Bar Screen</i>	-	-	-
Sumur Pengumpul	-	-	-
<i>Primary Treatment</i>			
<i>Grease Trap</i>	Minyak Lemak	80 %	Direktorat PPLP, Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR, Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja: Edisi Pertama 2017, Hal 31
Koagulasi - Flokulasi	-	-	-
Bak Sedimentasi	TSS	80 – 90 %	Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4 th edition, hal 497
Bak Ekualisasi	-	-	-

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
<i>Secondary Treatment</i>			
<i>Activated Sludge</i>	BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	85 – 95 %	Von Sperling, (2007), Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. Hal 13
	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	50-95 %	Cavaseno, Industrial Wastewater & Solid Waste Engineering, hal 15
	Minyak dan Lemak	80 – 99 %	
	NH ₃ N	33 – 99 %	
<i>Biofilter Anaerob</i>	BOD	90%	Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Media Plastik Bioball. Hal 55
	COD	92%	
	TSS	50-80%	(2nd Revise). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Halaman 78-79
	NH ₃ N	90%	Al Kholif, M. (2015). Pengaruh penggunaan media dalam menurunkan kandungan amonia pada limbah cair Rumah Potong Hewan Unggas (RPA) dengan sistem biofilter anaerobik. <i>WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA</i> , 13 (1), 13-18.
<i>Tertiary Treatment</i>			
<i>Clarifier</i>	TSS	60-80 %	Huisman (2004), Sedimentation BOD and Flotation, hal 12

2.4 Profil Hidrolis

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan dan kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.

a. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka;
- Kehilangan tekanan pada bak;
- Kehilangan tekanan pada pintu air;
- Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus.

b. 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:

- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris;
- Kehilangan tekanan pada perpipaan;
- Kehilangan tekanan pada aksesoris;
- Kehilangan tekanan pada pompa.