

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri karet yang menghasilkan karakteristik bermacam-macam serta membutuhkan banyak proses pengolahan limbahnya. Berdasarkan (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013) limbah karet mempunyai karakteristik dan standart baku mutu antara lain:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Karet

Parameter	Kadar Maksimum
BOD5	100 mg/L
COD	200 mg/L
TSS	100 mg/L
Ammonia (NH ₃)	10 mg/L
pH	6-9

(Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

A. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Dampak utama pencemaran organik dalam badan air adalah penurunan tingkat oksigen terlarut. Solusi yang ditemukan dalam skala laboratorium untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap volume standar limbah atau cairan lainnya dengan waktu yang telah ditentukan yaitu Biological Oxygen Demand (BOD).

BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan semua zat organik yang terlarut maupun tersuspensi dalam air buangan, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. BOD dinyatakan dengan BOD5 pada suhu 20° C. Kandungan BOD pada air limbah Industri Karet ini adalah 800 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L. Berdasarkan (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

B. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan pada uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidasi yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam. (Sperling, 2007, "Biological Wastewater Treatment", volume 1, hal 40).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair dengan memanfaatkan oksidator dikromat sebagai sumber oksigen, dinyatakan dalam ppm atau miligram per liter (mg/L).

Kandungan COD pada air limbah Industri Karet ini adalah 2700 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

C. TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran lebih besar dari partikel koloid. Yang termasuk TSS adalah lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfide, ganggang, bakteri dan jamur.

Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari Total Solids yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiber glass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm. Total Suspended Solid dalam air buangan Industri Karet ini adalah 450 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/l. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

D. Amonia (NH₃)

Ammonia total adalah senyawa kimia dengan rumus NH₃-N. Senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau ammonia). Walaupun

ammonia memiliki sumbangan 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 karet ini adalah 12 mg/l, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ yang diperoleh untuk dibuang ke lingkungan adalah 10 mg/l.

E. 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 Karet ini adalah 7,1 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 karet 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 melewatkan 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, koral, atau zat padat. Bak pengendap disediakan untuk mencegah terjadinya kerusakan alam akibat pengkikisan 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).

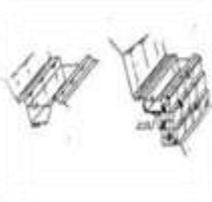
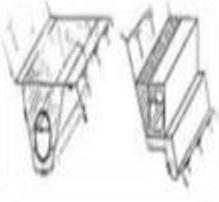


Gambar 2. 2 Saluran Tertutup

(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><u>Keuntungan :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Relatif Murah 2. Mudah mengkonstruksinya <p><u>Permasalahan:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kemungkinan aliran sedimen dari lereng di atasnya 2. Tingginya tingkat jatuh daun – daunan 	<p>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)</p>
Pipa Saluran Tertutup		<p><u>Keuntungan:</u></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><u>Permasalahan:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya 	<p>Tabungnya yang dipendam (hume, PVC, atau FRPM), <i>Box culvert</i>, Pagar saluran dengan tutupnya.</p>

Tabel 2. 3 Koefisien Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefisien 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 (m³/s)

A = Luas permukaan (m²)

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

A = Luas penampang (m²)

- Slope (s)

Ep = Ek

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

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

Keterangan:

Ep = Energi Potensial

Ek = Energi Kinetik

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi (10 m/s²)

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 di gunakan 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.wateronline.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
Drum (Berputar)	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
Horizontal Reciprocating Tangential	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

- *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 menghitung 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 (m²)
 B bak = Lebar penampang bak (m)
 H = Kedalaman bak (m)

- Menghitung kecepatan melalui bak menggunakan persamaan kontinuitas
 Dengan formula $A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$
 $A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$
 $0,0423 \text{ m}^2 \times 0,362 \text{ m/s} = 0,035 \text{ m}^2 \times v_2$
 $v_2 = 0,4531 \text{ m/s}$

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

- $P = H : \sin \theta$

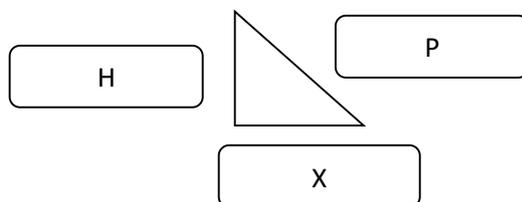
$$X = P : \cos \theta$$

Keterangan:

H = Kedalaman bak

P = Panjang sisi miring

X = panjang alas



- Jumlah Kisi (n)

Lebar saluran (B)

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

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

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

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

$V_{i \text{ clogging}} = 2V_i$

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

Keterangan:

H_f = Headloss

C_c = 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 (m³)

Q : Debit air limbah (m³/s)

Td : Waktu detensi

- Ketinggian total bak penampung

- H total = H + (20% x 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. 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 pengendapan 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).

Sebelum 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 konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jarrest 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 Waals 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 : •

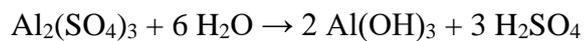
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan
- Jumlah dan karakteristik koloid

- 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 ditentukan 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 mengioksidasi 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 aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium 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 pengurangan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

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 lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan lambat 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 1 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 hidrolis yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi hidrolis dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolis dalam suatu aliran.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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 hidrolis, dan parshall flume.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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 Pembunuh 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

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 >10⁵

Massa jenis air (ρ), T (30°C) = 0,996 g/cm³

(Sumber: Reynold Richard, Unit Operation and Process in Environmental Engineering, 2nd edition, 1996)

b) Rumus yang Digunakan

Bak Pembubuh Koagulan

- Kebutuhan PAC = Dosis PAC \times 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 bak total : Debit bak total (m³/hari)

Kebutuhan air (m³/hari)

Kebutuhan PAC (m³/hari)

- Volume Tangki pembubuh (dilakukan 1 hari)

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

Keterangan :

V tangki : Volume tangki (m³)

Debit bak total (m³/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/m²)

V : Volume bak (m³)

- 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

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

Keterangan:

Diameter impeller (m)

Kecepatan impeller pembubuh (rps)

Massa jenis air (kg/m³)

Viskositas absolut (N s/m²)

Bak Koagulasi

- V air limbah

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

Keterangan:

V : volume air limbah (m³)

Q : debit air limbah (m³/s)

Td : Waktu detensi (detik)

- $V \text{ Koagulan} = Q \text{ koagulan} \times Td$

Keterangan:

V : volume koagulan (m^3)

Q : Debit koagulan (m^3/s)

Td : Waktu detensi (detik)

- Volume total

- $V \text{ total} = V \text{ limbah} + V \text{ koagulan}$

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 ($/s$)

μ : Viskositas absolut ($N \text{ s}/m^2$)

V : Volume bak (m^3)

- H dalam air

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

Keterangan :

H air : Ketinggian air (m)

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

A : Luas permukaan (m^2)

- Freeboard

$Fb = H \text{ bak} - H \text{ air}$

Fb : Freeboard (m)

H bak : Ketinggian bak (m)

H air : Ketinggian air (m)

Bak Flokulasi

- Volume bak

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

Keterangan:

V : volume air limbah (m^3)

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

Td : Waktu detensi (detik)

- Dimensi bak

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

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

$$H \text{ total} = H + 20\% H$$
- 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 (m³)
- 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)
- 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

$$W_i = \frac{1}{x} \times D \text{ impeller}$$
 Keterangan:
 - W_i : lebar impeller (m)
 - D_i : Diameter impeller (m)
 - Lebar impeller : 1/6 – 1/10
- Cek bilangan reynold

$$N_{re} = \frac{(\text{Diameter Impeller})^2 \times \text{Kec.Impeller pembubuh} \times \text{massa jenis air}}{\text{viskositas dinamik}}$$
 Keterangan:
 - Diameter impeller (m)
 - Kecepatan impeller pembubuh (rps)
 - Massa jenis air (kg/m³)
 - Viskositas absolut (N s/m²)

B. Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan 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 hangatnnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air
- Suhu terstratifikasi
- Bilangan Eddy (dinamika fluida)

Pada tangki sirkular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengahaengah 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 : 25 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 x 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)

specific 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 Engineering Treatment & 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: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning)

b) Rumus yang Digunakan

Zona Pengendapan (Settling Zone)

- Volume Sedimentasi

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

V : volume air limbah (m³)

Q : debit air limbah (m³/s)

T_d : Waktu detensi (detik)

- Dimensi Bak Sedimentasi

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

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

Keterangan:

V : Volume air limbah (m³)

L : Panjang bak (m)

W : Lebar Bak (m)

H : Ketinggian air (m)

H total: Tinggi bangunan (m)

- Cek waktu detensi

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

$$D_p = \left(\frac{v_s \times 18 \times v}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5}$$
 Keterangan:
 D_p : Diameter partikel
 v : viskositas kinematik (m^2/s)
 g : gravitasi (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

$$v_h = \frac{Q}{W \times H}$$
 Keterangan:
 v_h : Kecepatan horizontal partikel (m/s)
 Q : debit air limbah (m^3/s)
 W : Lebar Bak (m)
 H : ketinggian bak (m)
- Cek bilangan Reynold (Nre)

$$N_{re} = \frac{v_h \times R}{\nu}$$
 Keterangan:
 N_{re} : bilangan Reynold
- v_h : Kecepatan horizontal partikel (m/s)
 R : Jari-jari hidrolis (m)
 ν : viskositas kinematik (m^2/s)
- Cek bilangan Froud (Nfr)

$$N_{fr} = \frac{v_h^2}{g \times h_{total}}$$

- Cek kecepatan penggerusan (V scouring)

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

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 (m²)

Q : Debit air limbah (m³/s)

v : kecepatan aliran (m/s)

- Dimensi Bak

$$A = W \times L$$

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

Keterangan :

A : Luas permukaan (m²)

W : Lebar (m)

L : panjang (m)

H : ketinggian air (m)

H total: ketinggian bangunan (m)

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

Keterangan:

v cek : cek kecepatan aliran (m/s)

Q : debit air limbah (m³/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

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

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

$$\text{TSS} = \text{TSS Influent} \times \% \text{ removal}$$
- Lumpur yang dihasilkan/berat Lumpur

$$W_s = Q \text{ limbah} \times \text{total solid yang mengendap}$$

Keterangan:

 - W_s : 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

$$V = 1/3 \times H \times A1 + A2 \sqrt{(A1 + A2)}$$

Keterangan:

V : volume zona sludge (m³)

H : ketinggian bangunan (m)

A1 : Luas permukaan lumpur (m)

A2 : Luas permukaan dasar (m)

- Debit pipa penguras sludge (Qp)

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

Zona Outlet

- Q unit outlet = Q limbah – Q pengurasan sludge

- Panjang total weir

$$Lw = Q/WRL$$

Keterangan:

Lw : panjang total weir

Q : Debit air limbah (m³/s)

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

Keterangan:

Q : debit air limbah (m³/s)

- Panjang pelimpah

$$Lp = \frac{Lw}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan:

Lp : Panjang pelimpah

Lw : 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

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

- Lebar pelimpah

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

- 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 (m³/s)
 - n : kekasaran pipa
 - A : luas permukaan (m²)
 - R : jari-jari hidrolis (m)
- Headloss gutter
 $H_f = \text{panjang pelimpah} \times \text{Slope gutter}$

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.
- *Tempered Aeration*

Sama dengan step aerasi, namun pada tempered 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://yanke.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 (k_s) = 25 - 150 mg/L.BOD

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

b) Rumus yang Digunakan

Bak Activated Sludge

- Koefisien Kinetik pada Suhu 30o C

Koefisien endogeneous

$$(kd) = Kd_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K_d : 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)

$$k_s = K_{s20} \times \theta^{(T-20)}$$

- Partikulat BOD di effluent

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

- BOD lolos

$$C_r = \text{BOD influent } (C_o) - \text{BOD teremoval } (C_o)$$

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

- Debit resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R$$

Keterangan:

Q_r : debit resirkulasi (m³/detik)

Q_o : debit air limbah (m³/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/m³)

Q_o : Debit air limbah (m³/hari)

C_o : BOD masuk (kg/m³)

Q_r : Debit resirkulasi (m³/hari)

C_r : BOD lolos (kg/m³)

- Debit yang masuk ke bak Activated Sludge

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

Keterangan:

Q_{in}: Debit air limbah total (m³/hari)

Q_o : Debit air limbah masuk (m³/hari)

Q_r : Debit air limbah resirkulasi (m³/hari)

- Volume Bak Activated Sludge

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

Keterangan:

V : volume bak

Q_o : 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_o : Debit air limbah masuk (m^3/s)

C_o : BOD inlet (kg/m^3)

C_r : BOD lolos (kg/m^3)

- Produksi Lumpur MLVSS

$$P \times X_v(\text{MLVSS}) = Q_{\text{in}} \times Y_{\text{obs}} \times (S_0 - S) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right)$$

Keterangan:

S_0 : BOD influent (mg/L)

S : BOD effluent (mg/L)

- Produksi lumpur MLSS

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

- Debit lumpur

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

- Debit lumpur yang dibuang (melalui reaktor)

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

Keterangan:

Q_{ex} : Debit lumpur yang dibuang (m^3/hari)

V_{bak} : volume bak (m^3)

θ_c : 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

$$R_{\text{Oksigen}} = Q_{\text{in}} \times (S_0 - S) - 1,42 \times P$$

Keterangan:

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

S_0 : BOD influent (mg/L)

S : BOD effluent (mg/L)

P : produksi lumpur MLVSS

$$\text{Keb. udara teoritis} = \frac{\text{kebutuhan } O_2 \text{ teoritis}}{(\rho_{\text{udara}} \times \% O_2 \text{ di udara})}$$

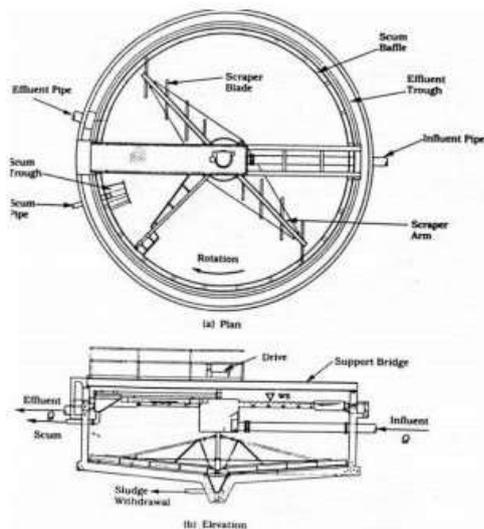
$$\text{Keb. udara aktual} = \frac{\text{Jumlah keb.udara teoritis}}{\text{efisiensi transfer } O_2}$$

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 pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga slude 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. 5 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 m³/m².hari
- Weir loading rate = 125 – 150 m³/m².hari
- Diameter inlet wall = 15 – 20% Diameter tangki
- Kedalaman tangki = 3,5 – 6 m
- Bilangan NRe = Vs < 1 (laminer)
- Bilangan NRe = Vh < 2000 (laminer)
- 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

$$H = \frac{Q \text{ in} \times t_d}{A}$$
- cek OFR

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

Keterangan:
 OFR : Over Flow Rate (m³/m².hari)
 Q in : Debit total (m³/hari)
 A : Luas permukaan (m²)
- Volume bak

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

Keterangan:
 V : volume bak (m³)
 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 (m³)
 Q in : Debit total (m³/hari)
- Kecepatan pengendapan

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

Keterangan:
 V_s : Kecepatan pengendapan (m/s)
 H : kedalaman bak (m)
 T_d : waktu detensi (jam)
- Diameter partikel

$$D \text{ partikel} = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times \nu \text{ kinematis}}{g (S_g - 1)}}$$

Keterangan:
 V_s : Kecepatan pengendapan (m/s)
 V kinematis: viskositas kinematis
 g : percepatan gravitasi (m/s²)
 S_g : Specific gravity sludge

- Cek NRe untuk Vs

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

Keterangan:

ρSg : massa jenis sludge (kg/ m³)

Vs : Kecepatan pengendapan (m/s)

$D \text{ partikel}$: Diameter partikel (m)

- Kecepatan horizontal

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

- 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

$$NRe = \frac{Vh \times R}{v \text{ kinematik}}$$

- Cek NFr

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

Keterangan:

NFr : Bilangan froud

Vh : Kecepatan horizontal (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s²)

H : kedalaman (m)

- Kecepatan penggerusan

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

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

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

Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

v : kecepatan aliran (m/s)

A : Luas permukaan (m²)

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 (m²)

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 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

$$V_L = \frac{T_{ms}}{\text{massa jenis sludge}}$$

Keterangan:

VL : Volume lumpur (m^3)

Tms : Total massa lumpur (kg)

Massa jenis (kg/m^3)

- Berat jenis sludge = $S_g \times$ 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

$$V_{\text{solid}} = 5\% \times VL$$

- Berat jenis solid = $S_s \times$ massa jenis air

Keterangan:

Berat jenis solid (kg/m^3)

S_s : Specific 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 = $\frac{\text{presentase air}}{\text{presentase solid}} \times$ massa TSS tersisihkan
- Volume air

- V air $= \frac{\text{berat air tersisih}}{\text{massa jenis air}}$
- Volume Sludge
V sludge $= \text{Volume TSS tersisihkan} + \text{Volume air}$
- berat jenis sludge $= S_g \times \text{massa jenis air}$
- Berat sludge $= \text{Volume Sludge} \times \text{berat jenis sludge}$
- Debit lumpur
Qs $= \frac{\text{berat sludge}}{\text{berat jenis sludge}}$

Lumpur Total Clarifier

- Volume lumpur clarifier
V lumpur clarifier $= \text{Vol lumpur AS} + \text{Vol lumpur TSS}$
 - Debit lumpur Clarifier
Qs clarifier $= Q \text{ lumpur AS} + Q \text{ lumpur TSS}$
 - Tinggi ruang lumpur
VL $= \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)$
H $= \frac{VL \times 3}{\pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)}$
- Keterangan:
- VL : volume lumpur (m³)
 - H : kedalaman (m)
 - R : jari-jari permukaan atas (m)
 - r : jari-jari permukaan bawah (m)
- Kedalaman total clarifier
H total $= H \text{ settling} + H \text{ thickening} + H \text{ sludge}$
H bangunan $= H \text{ total} + fb$

Resirkulasi ke Activated Sludge

- Luas permukaan penampang
A $= Q/v$
D $= \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$
v cek $= Q/A$
- Keterangan:
- Q : debit masuk (m³/s)
 - A : Luas permukaan (m²)
 - D : diameter (m)

Lumpur Yang Dibuang Ke Sludge Collector

- Debit Pengurasan = $\frac{V \text{ lumpur}}{\text{Waktu pengurasan}}$
- Luas permukaan penampang dan kebutuhan pipa
 $A = \frac{Q}{v}$
 $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$
 $v \text{ cek} = Q/A$

Keterangan:

Q : debit masuk (m³/s)

A : Luas permukaan (m²)

D : diameter (m)

Zona Outlet

Weir dan v notch

- Panjang keliling weir
- L 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 per v notch = $\frac{Q}{N}$
- Tinggi air melalui v notch
Q v notch = $\frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times Hp^{5/2}$
= 3,4 cm

Keterangan:

Cd = 0,548

- Panjang basah tiap pelimpah

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

Keterangan:

Li : panjang basah pelimpah (m)

Hp : Tinggi air melalui v notch (m)

- Panjang basah total

$$L_n = N \times L_i$$

Keterangan:

L_n : panjang basah total (m)

N : jumlah v notch (m)

L_i : panjang basah pelimpah (m)

Saluran Pelimpah

- Luas permukaan

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

- Dimensi pipa

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

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

- v 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 bertanggung jawab 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:

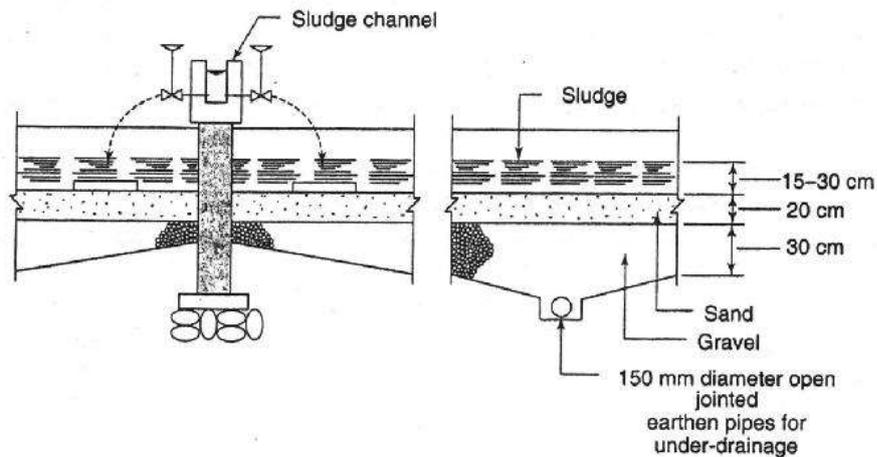
1. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan;
2. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan;
3. Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan.

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. 6 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 (m³)

Vb : volume lumpur tiap bed (m³)

- Volume sludge cake tiap bed

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

Keterangan:

V_i : Volume sludge cake tiap bed (m³)

V_b : volume lumpur tiap bed (m³)

P : Kadar air (P) (%)

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

- Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

$$A = P \times L$$

- 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

$$H_{\text{total}} = \text{tebal media} + h_{\text{underdrain}}$$

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

- 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 atau pembersihan atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%). Besar persen Removal unit pengolahan air limbah industri karet dapat dilihat pada **Tabel 2. 6**

Tabel 2. 6 Persen Removal

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Pre Treatment			
Saluran Pembawa	-	-	-
<i>Bar Screen</i>	-	-	-
Sumur Pengumpul	-	-	-
Primary Treatment			
Koagulasi - Flokulasi	-	-	-
Bak Sedimentasi	TSS	80 – 90 %	Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4 th edition, hal 497
Secondary Treatment			
<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
	NH ₃ N	33 – 99 %	
Tertiary Treatment			
<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.