

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri msg mempunyai karakteristik limbah industri gula yang berbeda, menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 limbah cair industri gula mempunyai karakteristik dan baku mutu antara lain :

2.1.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri aerobik melalui proses biologis (*biological oxidation*) secara dekomposisi aerobik. *Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan salah satu empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD menggambarkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua senyawa organik yang terlarut dan yang sebagian tersuspensi di dalam air (Atima, 2015). Parameter BOD dapat ditemukan karena limbah cair industri gula mengandung unsur organik dari proses produksinya di stasiun masakan.

Kandungan BOD air buangan industri gula ini adalah 1000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 100 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

2.1.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mekoksodasi zat-zat organik. Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen di dalam air (Atima, 2015). Parameter COD dapat

ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil pencampuran bahan kimia berupa kapur dari proses produksinya di stasiun pemurnian.

Kandungan COD air buangan industri gula ini adalah 2000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 250 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS (*Total Suspended Solid*) dalam air limbah seperti pasir, liat, dan bahan organik. TSS jika dibuang ke badan air akan meningkatkan kekeruhan dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan hewan – hewan air (Alaerth dan Santika, 1987). Parameter TSS dapat ditemukan karena limbah cair industri gula mengandung partikel padatan dari proses produksinya di stasiun gilingan, dan putaran.

Kandungan TSS air buangan industri gula ini adalah 1000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

2.1.4 Minyak dan Lemak

Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak di dapatkan di dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk *esther* dan alkohol atau *gliserol* dengan asam lemak. *Gliserid* dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak ini berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987). Parameter

minyak dan lemak dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemisahan sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian.

Kandungan minyak dan lemak air buangan industri gula ini adalah 50 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

2.1.5 Sulfida (H₂S)

Hidrogen sulfida (H₂S), adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktifitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam (Sugiharto, 1987). Parameter sulfida dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan hasil dari pemurnian sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian dan masakan.

Kandungan sulfida air buangan industri gula ini adalah 10 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

2.1.6 pH (Derajat Keasaman)

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air maupun dari air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987). Parameter pH dapat ditemukan karena limbah cair industri gula diproses dengan bahan campuran berupa kapur dan diatur derajat keasamannya menjadi basa agar waktu melalui pipa tidak mudah berkarat

Kandungan pH air buangan industri gula ini adalah 8, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan pH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 6 – 9 (Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014).

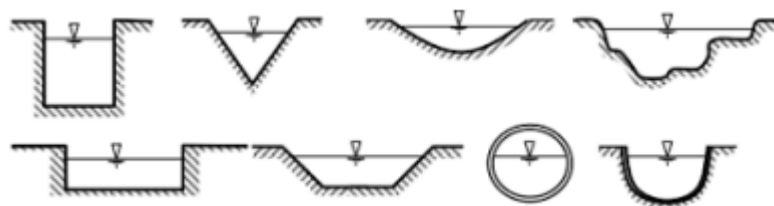
2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengalirkan air dari suatu bangunan ke bangunan pengolahan limbah lainnya. Saluran pendukung ini biasanya terbuat dari dinding beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran terbuka terbuka dan tertutup. Saluran ini dapat mengalirkan air dengan memperhatikan perbedaan ketinggian atau elevasi antar bangunan satu dengan bangunan lainnya. Kemiringan/slope (m/m) diperlukan jika saluran pembawa ini berada diatas lahan yang datar.

Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut

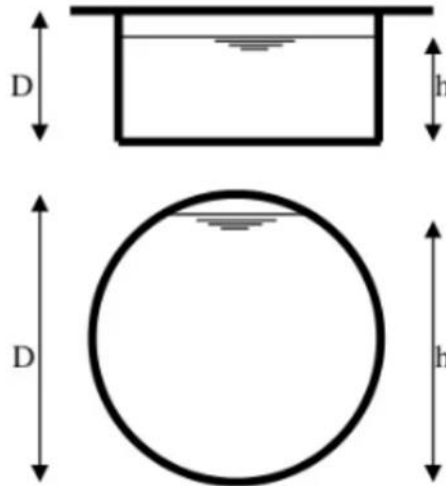


Gambar 2. 1 Bentuk-Bentuk Saluran Pembawa

Sumber:(https://emodul.untad.ac.id/pluginfile.php/198/mod_resource/content/1/reksunmod5.pdf)

Sedangkan saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan

sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2. 2 Bentuk-Bentuk Saluran Tertutup

Sumber : ([Aliran Seragam pada Saluran Terbuka \(Hidrolika\) \(slideshare.net\)](http://slideshare.net))

Kriteria Desain :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / *slope* = 1.10-3m/m
- *Freeboard* = 10 - 20%
- Dimensi saluran (Ws) = $B = 2H$

Rumus Perhitungan :

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/s)

V = kecepatan air fluida dalam saluran pembawa (m/s)

Sumber: (Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Kedalaman Saluran Pembawa

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

Keterangan:

H = kedalaman saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar permukaan saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

$$H_{\text{total}} = H + (10\% - 30\% \times H)$$

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total saluran pembawa (m)

H = kedalaman saluran pembawa (m)

Fb = 10% - 30% H

Sumber: (Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Cek Kecepatan

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

V = kecepatan air fluida dalam saluran pembawa (m/s)

Sumber: (Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Slope Saluran Pembawa

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

Keterangan:

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

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

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

- Headloss Saluran Pembawa

$$H_f = n \times L$$

Keterangan:

H_f = headloss saluran pembawa (m)

n = koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

- Slope Saluran Pembawa

$$S = h_{\text{statis}} \times H_f$$

Keterangan:

S = slope saluran pembawa (m)

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

H_f = headloss saluran pembawa (m)

- Kemiringan Slope

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

s = kemiringan saluran/slope (m/m)

n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa

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

R = jari-jari hidrolis (m)

- Cek Kecepatan

$$v = \frac{Q}{B \times H}$$

Keterangan:

v = kecepatan (m/s)

Q = debit limbah (m^3/s)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

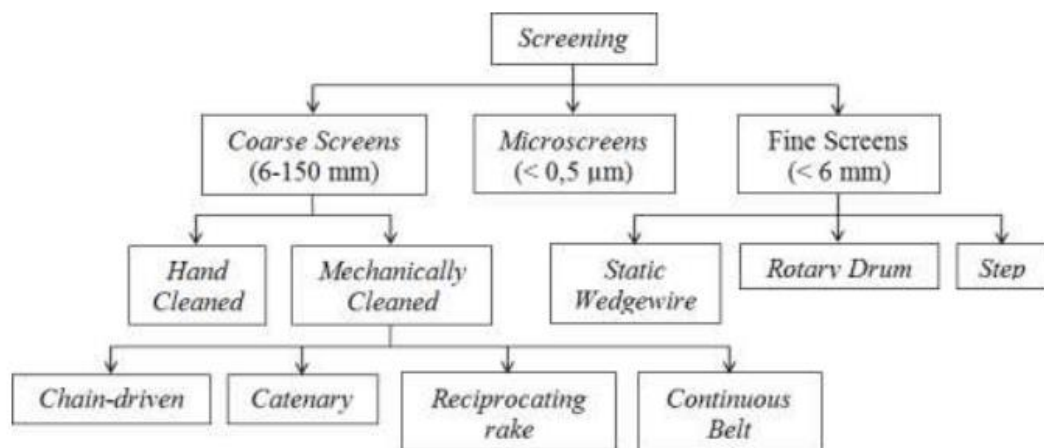
2.2.2 Bar Screen

Bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

1. Kerusakan pada alat pengolahan
2. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan
3. Kontaminasi pada aliran air

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe *screen*, diantaranya *coarse screen*, *fine screen* dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inci). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inci). *Micro screen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. Screen pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, 9 bahkan *perforated plate* dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 3 Bagan Jenis-Jenis Screen

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2004)

Tipe-Tipe Screen

1. Fine Screen (Saringan Halus)

Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran 2,3 –6 mm. Biasanya digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*primary treatment*). *Fine Screen* terdiri dari *fixed* dan *movable Screen*. *Fixed Screen* atau *static* dipasang secara permanen dalam posisi vertikal, miring, atau horizontal, dan harus dibersihkan dengan garu, 12 gigi, atau sikat. Pada *movable Screen* pembersihan dilakukan secara terus menerus selama pengoperasian (Qasim, 1985). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre - Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm.



Gambar 2. 4 (a) *Inclined Screen*, (b) *Rotary Drum Screen*, (c) *Fixed Parabolic Screen*

Sumber : (Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater

Engineering: Treatment and Reuse 4th edition. New

York: McGraw-Hill Companies, Inc)

2. Micro Screen

Micro Screen merupakan saringan yang memiliki ukuran kurang dari 0,5 μm dan digunakan untuk menyaring material mengapung, alga, dan benda di dalam limbah yang berukuran kecil. Berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung, alga, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip yang digunakan pada segala jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0,3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 - 40 mm dan bentuk

penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003)

Tabel 2. 1 Faktor Bentuk

No	Bentuk Kisi	B
1	Segi empat sisi runcing	2,42
2	Segi empat sisi bulat runcing	1,83
3	Segi empat dengan sisi bulat	1,67
4	Bulat	1,79
5	Tearshape	0,76

(Sumber : Qasim, 1999)

3. *Coarse Screen (Saringan Kasar)*

Coarse Screen berbentuk seperti batangan paralel, umumnya dikenal sebagai "*bar screen*" digunakan untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6mm - 150mm seperti ranting kayu, kain dan kotoran lainnya. *Coarse Screen* berfungsi untuk melindungi pompa, *valve*, pipa dan peralatan lainnya terhadap kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. Metode pembersihan *bar screen* terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.

Pembersihan manual biasanya dilakukan di industri kecil atau menengah. Prinsip yang digunakan adalah material padat yang kasar dihilangkan dengan rangkaian material baja yang ditempatkan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0,3 - 0,6 m/s sehingga padatan tidak tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan penampang batang berbentuk persegi panjang. *Bar Screen* dibersihkan secara manual, biasanya layar dimiringkan 30° hingga 45° ke arah horizontal.

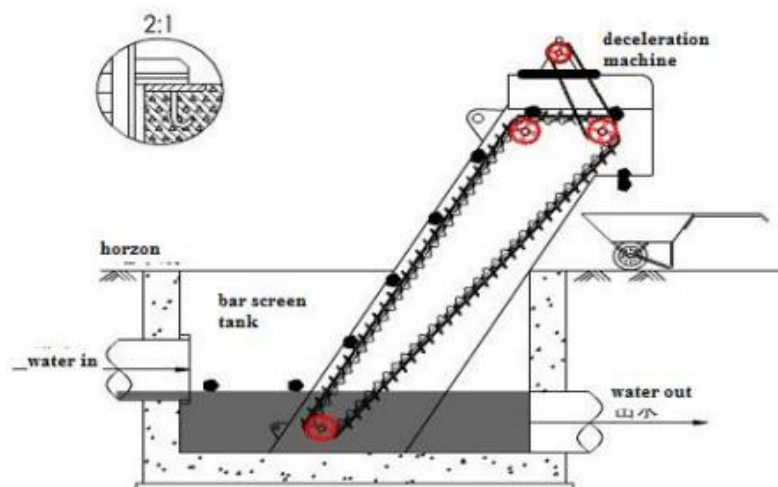


Gambar 2. 5 Pembersihan *Bar Screen* Manual di Lapangan

Sumber: (<https://www.beritajakarta.id/potret-wilayah/album/4669/tahap-finishing-pembangunan-rumah-pompa-susilo>)

Pembersihan secara mekanik biasanya menggunakan bahan-bahan yang terbuat dari stainless steel dan plastik. Adapun tipenya adalah sebagai berikut:

1. *Chain driven*
2. *Riciprocating rake*
3. *Catenary*
4. *Continouse bel*



Gambar 2. 6 Mechanical Bar Screen

Sumber: (<https://www.yx-filter.com/new/Mechanical-bar-screen-wastewater-treatment-bar-screen-sewage-treatment-bar-screen.html>)

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang *Screening*.

Kriteria Desain :

Pada perancangan ini digunakan *Coarse Screen* atau saringan kasar yang diletakkan pada ujung saluran pembawa yang berupa pipa di bak kontrol. Adapun kriteria perencanaan dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2. 2 Kriteria Perencanaan *Screen*

Parameter	U.S Customary Unit			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
Ukuran Batang						
Lebar	In	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5,0 - 15	5,0 - 15
Kedalaman	In	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar batang	In	1,5 - 2,0	0,3 - 0,6	mm	25 - 30	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 - 45	0,3	°	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		
<i>Headloss</i>	In	6	Jun-24	m	150	150 - 600

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

- Koef saat *non clogging* (c) = 0.7
- Koef saat *clogging* (Cc) = 0.6
(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003 WasteWater Engineering Treatment &Reuse Fourth Edition. Halaman 320)
- *Headloss* (Hf) = 150 mm – 800 mm
(Sumber : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Designand Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158)

Rumus Perhitungan :

a. Menghitung Bak Kontrol

- Menghitung Volume Bak

$$Q = \frac{v}{T} \quad v = Q \times T$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/s)

T = waktu detensi (s)

V = volume bak kontrol (m³)

- Menghitung Dimensi Bak

$$V = L \times W \times H \quad (2.7)$$

Keterangan :

V = volume bak kontrol (m³)

L = panjang bak kontrol (m)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

- Menghitung kecepatan air pada bak kontrol

$$v = \frac{Q}{W \times H} \quad (2.7)$$

Keterangan :

v = kecepatan kontrol (m²/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

- Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol

$$H_{\text{bak kontrol/total}} = h_{\text{air}} + \text{freeboard}$$

$$\text{Freeboard} = \% \text{freeboard} \times h_{\text{air}}$$

Keterangan :

$$H_{\text{bak kontrol/total}} = \text{kedalaman bak kontrol yang direncanakan (m)}$$

$$h_{\text{air}} = \text{tinggi air yang melalui Bar Screen}$$

$$\text{freeboard} = \text{ruang kosong untuk antisipasi luapan}$$

b. Menghitung Dimensi Bar Screen

Sumber Perhitungan : (Qasim, 1985, *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 164)

- Menghitung panjang Bar Screen

Panjang Bar Screen (sisi miring)

$$\sin \theta = \frac{H_{\text{bak kontrol/total}}}{x}$$

$$x = \frac{H_{\text{bak kontrol/total}}}{\sin \theta}$$

Lebar Bar Screen / Jarak Bar Screen

$$\cos \theta = \frac{y}{x}$$

$$y = x \times \cos \theta$$

- Menentukan jumlah kisi dan batang

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

$$\text{Jumlah batang} = \text{Jumlah kisi (n)} - 1$$

Keterangan :

$$W_s = \text{lebar bak kontrol (m)}$$

$$n = \text{jumlah kisi (kisi / buah)}$$

$$d = \text{lebar antar kisi (m)}$$

$$r = \text{jarak bukaan (m)}$$

- Menentukan lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

$$W_c = \text{lebar bukaan kisi (m)}$$

$$W_s = \text{lebar bak kontrol (m)}$$

n = jumlah kisi (kisi / buah)

d = lebar antar kisi (m)

c. Kecepatan

- Kecepatan yang melalui *Bar Screen*

$$v_i = \frac{Q}{(Wc \times \text{hair})}$$

- Kecepatan aliran saat pembersihan

$$v_c = \frac{Q}{(\%sumbatan \times Wc \times \text{hair})}$$

Keterangan:

V_c = Kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

Q = Debit air limbah (m³/s)

V_i = Kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

h_{air} = Kedalaman air (m)

d. Headloss pada *Bar Screen*

- Headloss saat non clogging

$$H_f = \frac{1}{c} \frac{v_1^2 - v^2}{2g}$$

- Headloss saat clogging pembersihan

$$H_f = \frac{1}{cc} \frac{vc^2 - v_1^2}{2g}$$

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

Keterangan:

H_f = Kehilangan telanan pada *Bar Screen* (m)

V_i = Kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

vc = Kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

v = Kecepatan awal aliran air (m/s)

c = Koef saat *non clogging*

cc = Koef saat *clogging*

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

2.2.3 Bak Penampung

Bak penampung adalah sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Bak penampung juga merupakan sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan.

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Kriteria Desain :

- Kecepatan aliran (v) = 0,6 – 2,5 m/s
- Freeboard = 10-20%
- Waktu detensi (t_d) = 24 jam (sumber: Qasim, 1999)
- Kedalaman = 4 meter (optimal)

Rumus Perhitungan :

- Volume bak penampung (V)

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V = volume bak (m^3)

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

t_d = waktu detensi

- Ketinggian total (H_{total})

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam bak (m)

Freeboard = tinggi jagaan/jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air (20%)

- Ketinggian bak penampung

$$V = p \times l \times h$$

Keterangan :

V = volume bak (m^3)

p = Panjang bak (m), dengan 2 x l

l = lebar bak (m)

h = ketinggian bak (m)

2.2.4 *Grase Trap*

Grease Trap adalah alat perangkap *grease* atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun *stainless steel* sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

Grease Trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar lemak/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah (dicerna) dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun, jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada *grease trap*. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada *grease trap* dihisap oleh pipa penghisap melalui *manhole*. Jenis *Grease Trap*:

- a. Yang paling umum adalah *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.

- b. Jenis yang paling umum kedua adalah tangki in-ground berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-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.
- c. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices*) atau Perangkat Pemulihan Lemak, menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Desain :

- Kecepatan aliran = 2-6 m/jam
- Waktu tinggal = 5 – 20 menit

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Rumus Perhitungan :

- Volume yang dibutuhkan
 $V = \text{debit influen} \times \text{waktu detensi}$
- Luas area yang dibutuhkan
 $A = \frac{Q}{V}$
- Panjang kompartemen 1 = 2/3P
Panjang kompartemen 2 = 1/3P
 $A' = P \times L$
- Cek kecepatan aliran
 $A = \frac{Q \text{ influen}}{\text{luas permukaan}}$

- Kedalaman tagki

Kedalaman aktif = 0,5 m

Tinggi area pengendapan = 0,3 m

Tinggi scum = 0,2 m

Freeboard = 0,3 m

Tinggi total = 1,3 m

- Efisiensi pengolahan

Konsentrasi lemak minyak dalam effluen = (1-efisiensi) × konsentrasi minyak

- Dimensi pipa

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

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

- Headloss grease trap

- Jari-jari hidrolis

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

- Slope

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

2.2.5 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. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016).

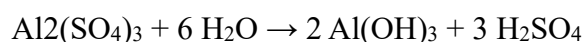
Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- 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 grup-grup 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 (secara grafitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004).

a. 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.



b. Koagulan *Ferric 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.

c. 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 ($\text{pH} > 10$).

d. 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 hingga 11.

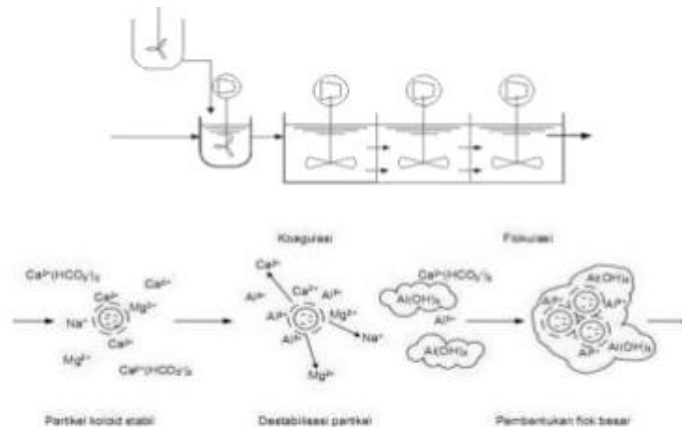
e. Koagulan *Sodium Aluminate* (NaAlO_2)

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.

f. 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 Al-OH .

PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu 22 pengarahannya dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.



Gambar 2. 7 Gambaran Proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber : : (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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 *jar test apparatus* untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).



Gambar 2. 8 Peralatan *Jar Test*

Sumber : : (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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

a. 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).

b. Penadukan Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik⁻¹) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press).

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi

a. 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* (balung-balung).

- *Paddle Impeller*

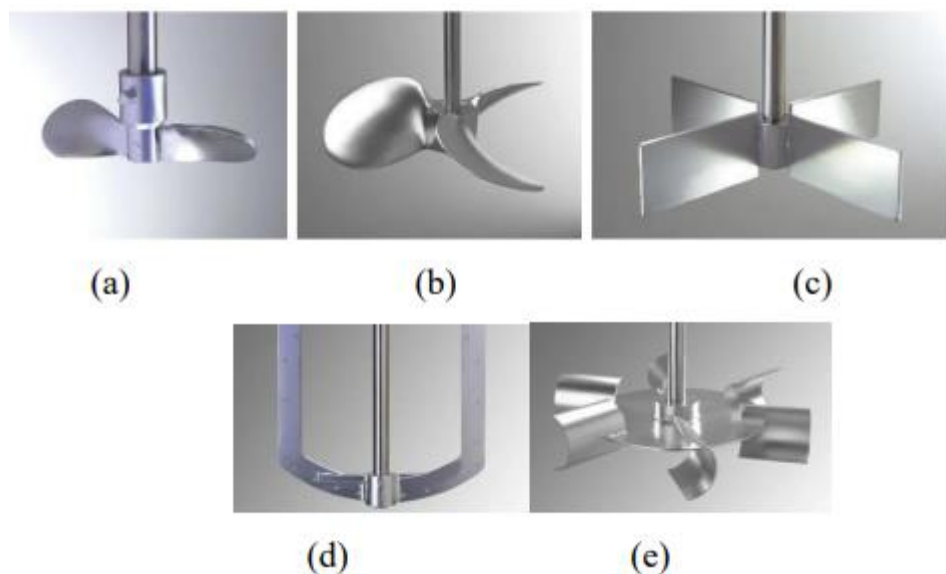
Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat *blades*. *Blades* dapat berbentuk *pitch* atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter *paddle impeller* biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar *paddle* biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak *paddle* yaitu 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).

- *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 inchi. 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 gradien 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 hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 9 Jenis-jenis *Impeller* (a) 2 blade *impeller* (b) 3 blade *impeller* (c) 4 blade *impeller* (d) *Anchor Type Impeller* (e) *Agitator Impeller*

Sumber : (<https://www.directindustry.com/prod/lightnin/product-24564-59977.html>)

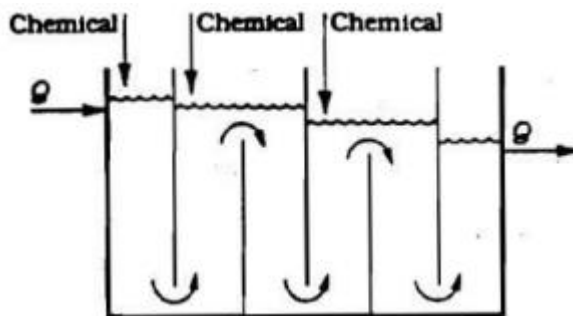
b. Pengadukan Hidrolis

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 hidrolis dalam suatu aliran.

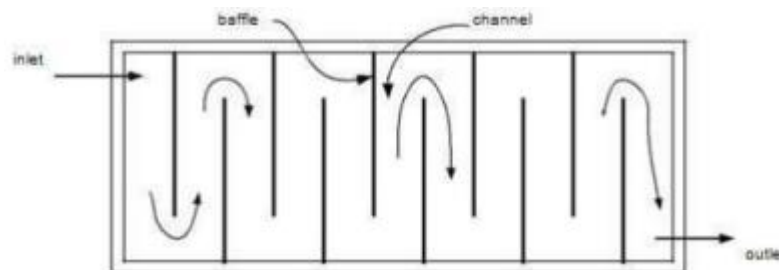
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran 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).



Gambar 2. 10 *Baffle Basin Rapid Mixing*

Sumber : (Reynolds & Richards, 1996)



Gambar 2. 11 *Baffle Chanel* untuk Pengadukan Lambat

Sumber : (Masduqi & Assomadi, 2016)

Rumus Perhitungan :

Bak Pembubuh Koagulan

- Kebutuhan koagulan harian

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{dosis koagulan} \times Q$$

Dengan :

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{jumlah koagulan dibutuhkan (kg/hari)}$$

$$\text{Dosis koagulan} = \text{dosis optimum koagulan (mg/L)}$$

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

- Debit koagulan per hari

$$Q \text{ koagulan} = \frac{\text{kebutuhan koagulan}}{\rho \text{ koagulan}} \times t_d$$

Dengan :

$$Q \text{ koagulan} = \text{debit koagulan (L/hari)}$$

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{jumlah koagulan dibutuhkan perhari (kg/hari)}$$

$$\rho \text{ koagulan} = \text{massa jenis koagulan (kg/L)}$$

$$T_d = \text{periode/lama pelarutan (hari)}$$

- Debit air peralut

$$Q \text{ pelarut} = \frac{100 - \text{pelarutan}}{\% \text{ pelarutan}} \times Q \text{ koagulan}$$

Dengan :

$$Q \text{ air pelarut} = \text{air yang dibutuhkan melarutkan koagulan (m}^3/\text{hari)}$$

$$\text{Kadar air pelarut} = \text{persen kandungan air dalam larutan}$$

$$Q \text{ koagulan} = \text{debit koagulan per hari (m}^3/\text{hari)}$$

- Total debit tangki pembubuh

$$Q \text{ total} = Q \text{ koagulan} + Q \text{ air pelarut}$$

dengan:

$$Q \text{ koagulan} = \text{Volume koagulan per hari (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q \text{ pelarut} = \text{Volume air pelarut per hari (m}^3/\text{hari)}$$

- Volume tangki pembubuh (pembubuh dilakukan 1 hari)

$$V = Q \text{ total} \times t_d$$

dengan:

Q total = Debit total tangki pembubuh (m³/hari)

td = Periode / lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air pada bak pembubuh

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

dengan :

V = Volume tangki pembubuh (m³)

D = Diameter tangki pembubuh (m)

hair = Kedalaman air dalam bak pembubuh (m)

- *Supply* tenaga ke air/daya pengaduk

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

dengan :

P = *Supply* tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak pembubuh (m³)

(Sumber: *Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A.. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company*)

- Diameter *impeller*

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

dengan :

P = *Supply* tenaga ke air (Watt)

KT = Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

η = Kecepatan putaran (rps)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

- Jarak *impeller* dengan dasar (Hi)

$$H_i = \% \times D_i$$

dengan :

H_i = Jarak *impeller* dengan dasar (m)

D_i = Diameter *impeller*

% = Persentase diameter (30 – 50% Di)

(Sumber: *Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 184. Boston: PWS Publishing Company*)

- Cek diameter *impeller*

$$\text{Cek D} = \frac{D \text{ impeller}}{D \text{ tangki}} \times 100\%$$

Dengan :

D impeller = Diameter impeller tangki (m)

D tangki = Diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

(Sumber: *Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 185. Boston: PWS Publishing Company*)

- Lebar *impeller*

$$W_i = \frac{1}{4} \times D \text{ tangki}$$

dengan :

W_i = Lebar impeller (m)

D tangki = Diameter tangki (m)

Lebar impeller = 1/6 – 1/10

- Cek bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{D_i^2 \times \eta \times \rho}{\mu}$$

Dengan :

N_{re} = bilangan Reynold

D_i = Diameter impeller/pengaduk (m)

η = Kecepatan putaran (rps)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

Bilangan Reynold dalam pengadukan cepat = N_{re} > 10000 Turbulen

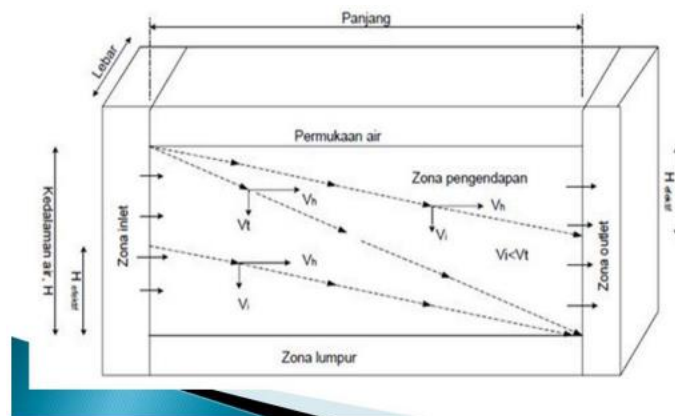
Bilangan Reynold dalam pengadukan cepat lambat = N_{re} < 2000 Laminer

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

2.2.6 Sedimentasi

Bak pengendap I atau 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. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan *Stoke's* karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan *column settling test* dan *withdrawal ports* pada waktu tertentu akan menghasilkan data *removal* sehingga akan didapat grafik *isoremoval* (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

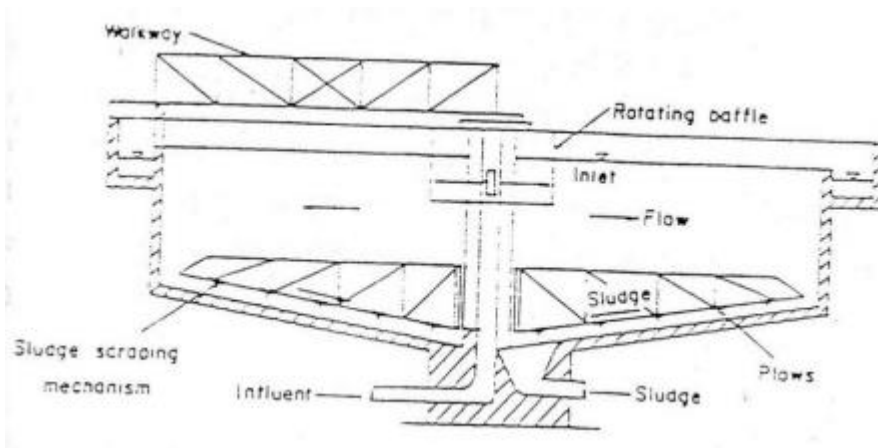


Gambar 2. 12 Bak Pengendap 1 Berbentuk *Rectangular*

Sumber : (<https://slideplayer.info/slide/1938392/>)

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu *inlet* didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

1. Lebar saluran *inlet* dengan *inlet* limpahan,
2. Saluran *inlet* dengan *port* dan *orifice*,
3. Saluran *inlet* dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*.



Gambar 2. 13 Bak Pengendap 1 Berbentuk *Circular*

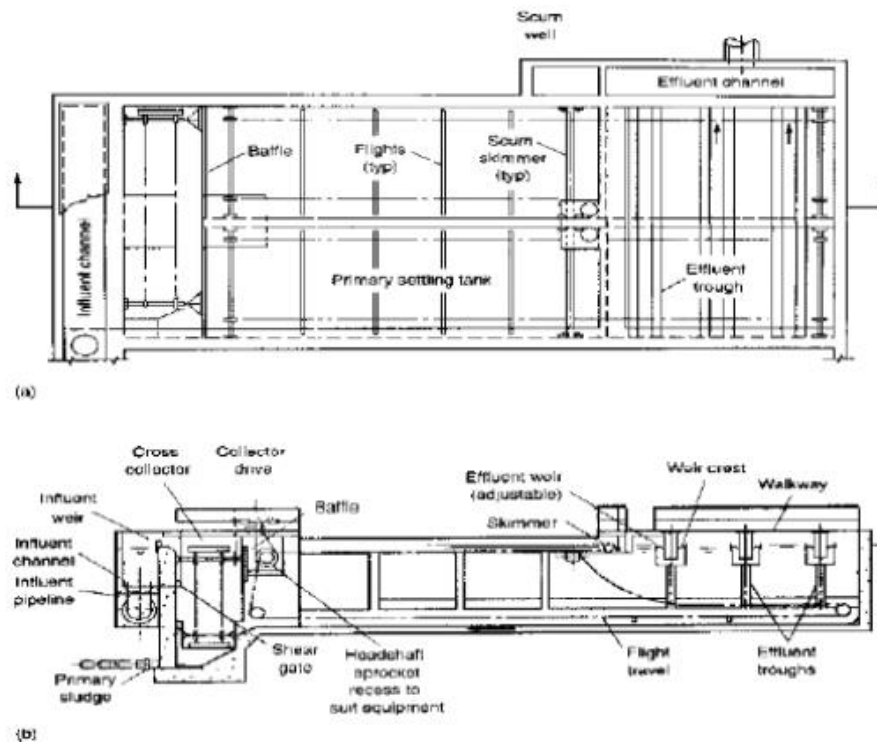
Sumber: (<http://caracararaa.blogspot.com/2015/09/makalah-pam-sedimentasi.html>)

Pada tangki *circular* 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 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 pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak pengendap I dipengaruhi oleh :

1. Aliran angin
2. Suhu udara permukaan
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air
4. Suhu terstratifikasi dari iklim
5. Bilangan eddy.



Gambar 2. 14 Bak Pengendap 1

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003)

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 tengahnya sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1- 2,5meter 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).

Tabel 2. 3 Desain Tangki Sedimentasi I

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment</i>						
Waktu Tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata-Rata	gal/ft ² s	800-1.200	1.000	m ³ /m ² s	30-50	40
Puncak	gal/ft ² s	2.000-3.000	2.500	m ³ /m ² s	80-120	100
Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250
<i>Primary Settling with Waste Activated Sludge Return</i>						
Waktu Tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata-Rata	gal/ft ² s	600-800	1.000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	gal/ft ² s	1.200-1.700	1.500	m ³ /m ² s	48-70	60
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Tabel 2. 4 Data Perencanaan untuk Bangunan Sedimentasi I Berbentuk Persegi dan Lingkaran

Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Persegi Panjang						
Kedalaman	feet	10-16	14	M	3-4,9	4,3
Panjang	feet	50-300	80-130	M	15-90	24-40
Lebar	feet	10-80	16-32	M	3-24	4,9-9,8
<i>Flight Speed</i>	ft/min	2-4	3	m/min	0,6-1,2	0,9
Lingkaran						
Kedalaman	feet	0-16	14	M	3-4,9	4,3
Diameter	feet	10-200	40-150	M	3-60	12-45
Kemiringan Dasar	In/ft	0,75-2	1	mm/mm	1/16-1/6	1/12
<i>Flight Speed</i>	r/min	0,02-0,05	0,03	r/min	0,02-0,05	0,03

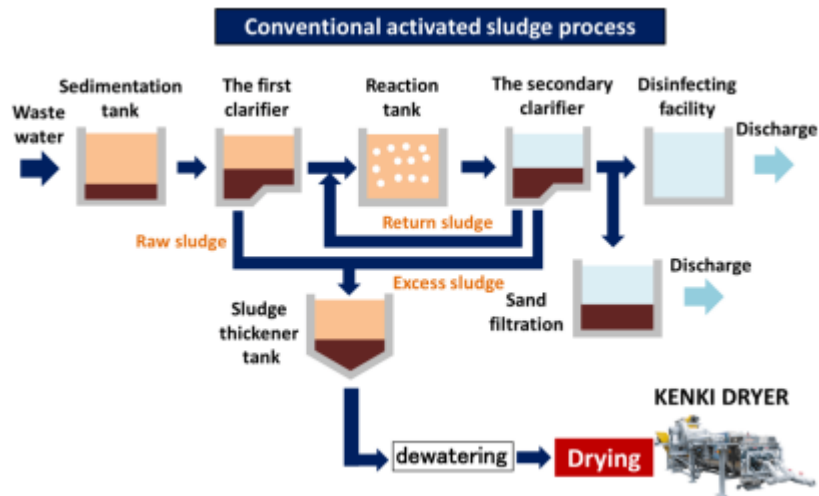
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

2.2.7 Activated Sludge

Pengolahan *activated sludge* atau 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). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan mikroba sebagai pengurai. Bakteridan mikroba ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas. Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut :

a. Konvensional

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



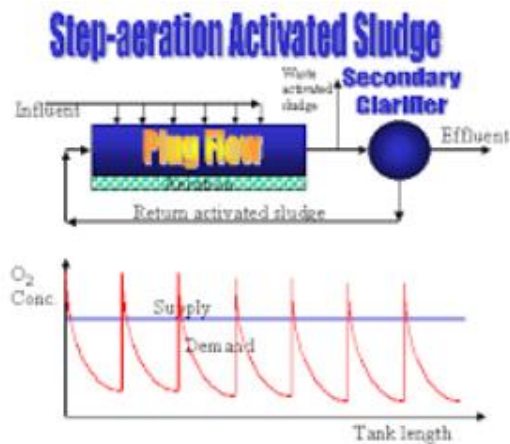
Gambar 2. 15 *Activated Sludge* Sistem Konvensional

Sumber: (<https://kenkidryer.com/2020/03/14/about-conventional-activated-sludge/>)

b. Non-konvensional

- *Step Aeration*

Step aeration merupakan tipe *plug flow* dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju *outlet*. *Inlet* air buangan masuk melalui 3-4 titik di tangki aerasi dengan maksud untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

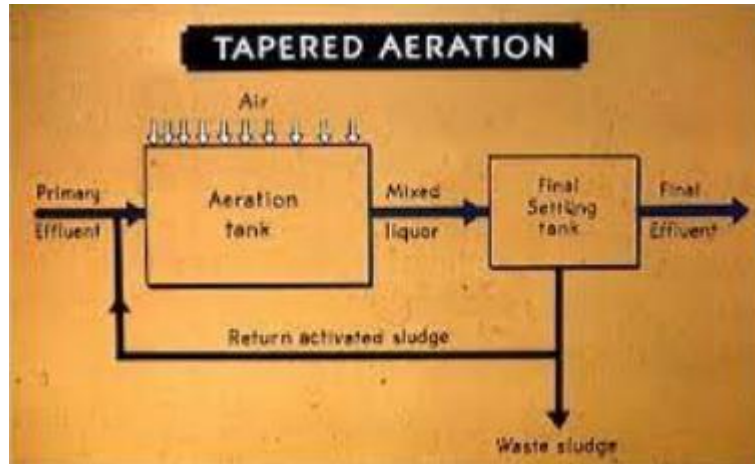


Gambar 2. 16 *Step Aeration*

Sumber: (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/modi3.gif>)

- *Tapered Aeration*

Tapered aeration hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara ditik awal lebih tinggi.



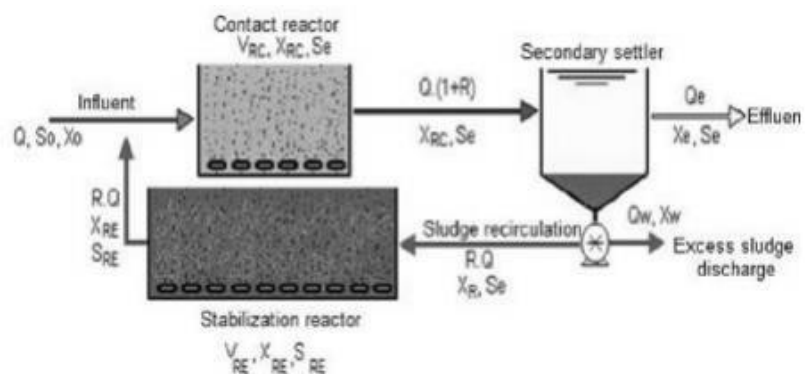
Gambar 2. 17 *Tapered Aeration*

Sumber: (<http://ketutsumada.blogspot.com/2012/04/modifikasi-pengolahan-air-limbah-secara.html>)

- *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:

1. *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
2. *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

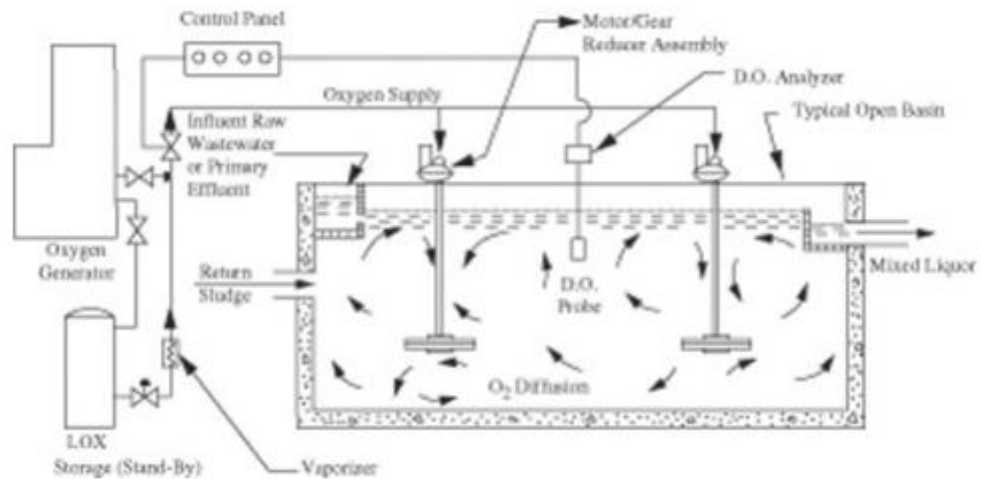


Gambar 2. 18 *Contact Stabilization*

Sumber: (https://www.researchgate.net/figure/Contact-stabilization-process_fig1_263716381)

- *Pure Oxygen*

Pure oxygen diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan *td* pendek.



Gambar 2. 19 *Pure Oxygen*

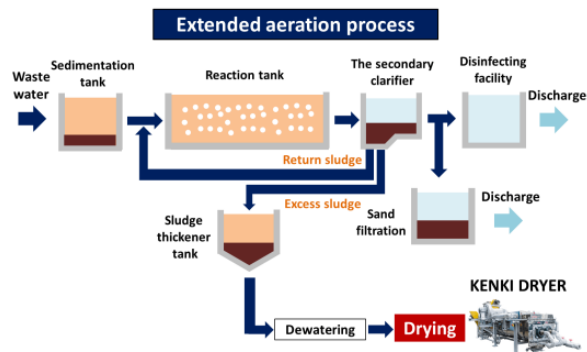
Sumber: (Nazih K. Shammass and Lawrence K. Wang,2009)

- *High Rate Aeration*

Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1-5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.

- *Extend Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan *time detention* (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.



Gambar 2. 20 *Extented Aeration*

Sumber: (<https://kenkidryer.com/2020/03/16/extended-aeration-process/>)

Kriteria Desain :

- a. Menggunakan *mechanical surface aerator*
- b. Umur lumpur (θ_c) = 4 – 10 hari
- c. Ratio F/M = 0,1 – 0,6 hari
(Sperling, 2007)
- d. MLSS (X) = 2000 – 4000 mg/l
- e. Kedalaman (H) = 4,5 – 7,5 m
(Metcalf & Eddy, 2003)
- f. *Freeboard* bak = 30 – 60%
(Metcalf & Eddy, 2003)
- g. MLVSS (X_v) = 1500 – 3500 mg/l
- h. Ratio MLSS/MLVSS = 0,70 – 0,85
(Sperling, 2007)
- i. Rasio Resirkulasi (Q_r/Q) = 0,25 – 2
(Metcalf & Eddy, 2003)
- j. *Temperature activity coefficient* (Θ) *activated sludge* = 1,02 – 1,25
(Metcalf & Eddy, 2003)
- k. *Safety factor* = 1,75 – 2,5 (karena mengandung ammonia)
(Metcalf & Eddy, 2003)
- l. Perode aerasi (t_d) = 6 – 8 jam
- m. Jumlah mikroorganisme (S_a) = 2500 – 3500 ppm
- n. Jumlah mikroorganisme Resirkulasi (S_r) = 8000 – 10000 ppm
(Metcalf & Eddy, 1991)
- o. Nilai koefisien :
 - Rata – rata penggunaan substrat (k) = 2 – 10/hari
 - Konsentrasi substrat (K_s) = 25 – 150 mg/liter.BOD
 - Koefisien *Endogeneous* (K_d) = 0,025 – 0,075 hari
(Reynolds, et al.. 1996)

Rumus Perhitungan :

- Partikula BOD *Efluent*
 $BOD_{SS} = BOD_{Efluent} \times (MLVSS/MLSS) \times F_b$

$$\text{BOD}_{\text{terlarut}} = \text{BOD}_{\text{effluent}} - \text{BOD}_{\text{SS}}$$

Dengan:

VSS/SS = rasio perbandingan VSS dan SS

FB = Fraksi *biodegradable*

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

- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

$$E = \frac{\text{BOD}_{\text{inf}} - \text{BOD}_{\text{terlarut}}}{\text{BOD}_{\text{inf}}} \times 100\%$$

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 30)

- Debit resirkulasi

$$Q = R \times Q_0$$

Dengan :

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/detik)

Q_0 = Debit air limbah awal (m^3/detik)

R = Rasio resirkulasi

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 36)

- Debit total bioreaktor

$$Q_{\text{tot}} = Q_0 + Q_r$$

Dengan :

Q_{tot} = Debit total (m^3/detik)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/detik)

Q_0 = Debit air limbah awal (m^3/detik)

- Konsentrasi BOD dalam bioreaktor (S_a)

$$S_a = \frac{(S_0 \times Q_0) + (S_r \times Q_r)}{(Q_0 + Q_r)}$$

Dengan :

S_a = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_r = Konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

S_o = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_r = Debit resirkulasi ($m^3/detik$)

Q_o = Debit air limbah awal ($m^3/detik$)

- Volume bioreaktor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (S_o - S_a)}{X_a \times (1 + K_d \times \theta_c \times F_b)}$$

Dengan :

V = volume bioreaktor

Y = Yield coefficient (g VSS / G BOD 5 Removed)

θ_c = umur lumpur (hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total ($m^3/detik$)

X_a = MLVSS (mg/L)

K_d = Endogenous respiration coefficient (g VSS/ g VSS.d)

F_b = Biodegradable fraction of VSS

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

- Kedalaman bioreaktor

$$H_{total} = H + H_{fb}$$

Dengan :

H_{total} = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

F_b = freeboard (5% - 30% $\times h$)

- F/M ratio

$$F/M \text{ ratio} = \frac{S_a}{T_d \times X_a}$$

Dengan :

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

X_a = MLVSS (mg/L)

T_d = waktu tinggal hidrolis (jam)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X_a(Q_a \times Q_r)}{Q_r}$$

Dengan :

X_r = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Q_r = Debit resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

X_a = MLVSS (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 35)

- Produksi lumpur tiap hari

$$Y_{obs} = \frac{y}{(1 + F_b \times K_d \times \theta_c)}$$

$$S_r = Q_a \times (S_o - S_a)$$

$$P_x = Y_{obs} \times S_r$$

Dengan :

P_x = produksi lumpur (kg/hari)

Y_{obs} = koefisien observed yield

θ_c = umur lumpur (hari)

K_d = endogenous respiration coefficient (g VSS /G VSS/d)

F_b = biodegradable fraction of VSS

S_r = penyisihan beban BOD (kg/hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total (m³/detik)

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 39)

- Debit lumpur yang dibuang

$$Q_{ex} = \frac{V}{\theta_c}$$

$$Q_{ex} = \frac{V}{\theta_c} \times \frac{V}{X_r}$$

Dengan :

V = volume bioreaktor

Θ_c = umur lumpur

X = MLSS (mg/L)

X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 43 -44)

- Volume lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{P_x}{\rho_{\text{lumpur}} \times c} \times \Theta_c$$

Dengan:

V_{lumpur} = volume lumpur (m³)

P_x = Produksi lumpur (kg/hari)

ρ_{lumpur} = massa jenis lumpur (kg/m³)

C = konsentrasi lumpur

Θ = umur lumpur(hari)

- Kebutuhan oksigen

Keb O₂ teoritis = Keb teoritis × faktor deain

$$\text{Keb udara teoritis} = \frac{\text{Keb O}_2 \text{ teoritis}}{\text{berat standar udara} \times \% \text{O}_2 \text{ udara}}$$

$$\text{Keb udara aktual} = \frac{\text{kebutuhan udara teoritis}}{\text{efisiensi blower}}$$

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

- Desain perpipaan *diffuser*

$$\text{Panjang pipa lateral (L}_L\text{)} = \frac{W_{\text{bioreaktor}} - DM}{2}$$

$$L_M = (n \times D_L) + ((n + 1) \times r_L)$$

$$L_L = (n \times D_O) + ((n + 1) \times r_O)$$

Dengan :

L_M = Panjang pipa manifold (m)

L_L = Panjang pipa lateral (m)

D_M = Diameter pipa manifold (m)

D_L = Diameter pipa lateral (m)

D_O = Diameter lubang oriface (m)

r_L = Jarak antar pipa lateral (m)

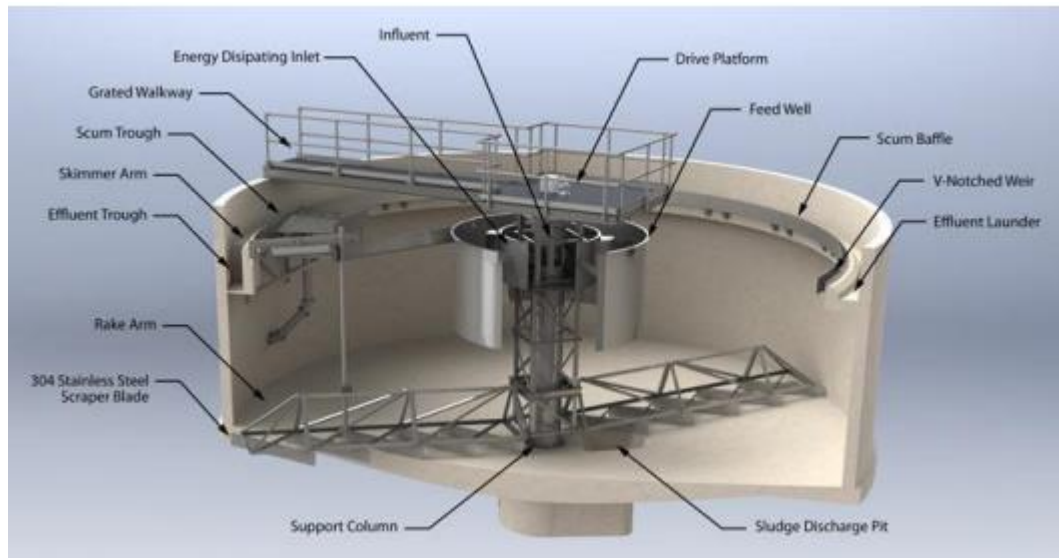
r_O = Jarak antar lubang oriface (m)

2.2.8 Clarifier

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

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

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman *clarifier* rata-rata 10-15 feet (3-4,6 meter). *Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter). *Secondary Settling (Clarifier)*, fungsinya sama dengan bak pengendap, tetapi *clarifier* biasanya di tempatkan setelah pengolahan kedua (pengolahan biologis).



Gambar 2. 21 Clarifier

Sumber : (<https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thick>)

Kriteria Desain :

Zona Settling

- Waktu detensi (t_d) = 1,5 – 2,5 jam
- Diameter bak = 10 – 200 ft \approx 3 – 60 m
- Over rate average flow = 600 – 800 gal/ft².hari = 24 – 32 m³/m².hari
- Weir loading rate (WLR) = 125 – 500 m³/hari
- Flight travel speed = 0,02 – 0,05 m/min
- Peak flow rate = 1200 – 1700 gal/ft².hari = 48,84 – 69,19 m³/m².hari
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering:Treatment andReuse 4th edition, hal 398. New York: McGrawHill Companies, Inc)
- Kedalaman bangunan (H) = 3,5 – 6 m (Metcalf & Eddy)
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering:Treatment andReuse 4th edition, hal 687. New York: McGrawHill Companies, Inc)
- MLSS = 4000 – 12000 mg/liter
(Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition)
- Diameter inlet well = 15 – 20% Diameter bak

- (Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, hal 401. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)
- Specific gravity solids = 1,3
- Slope dasar = 3 / 4 - 2 in/ft = 62,5 – 166,7 mm/min

Rumus perhitungan :

Zona Settling

- Debit Clarifier

$$\text{MLVSS yang dibuang} = \frac{P \times \text{MLVSS}}{\text{berat jenis lumpur}}$$

- Q in Clarifier
= (Qo + Qr) – MLVSS yang dibuang
- MLVSS yang dibuang

$$= \frac{Q_{in}}{\text{over flowrate}}$$

- Diameter bak (D_{bak})

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

- Kecepatan horizontal di bak (Vh)

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

- Headloss pada zona settling (Hf)

$$S = \frac{n \times Vh}{(R)^{\frac{2}{3}}}$$

- Cek aliran

$$N_{re} = \frac{D \times V_s}{\text{viskositas}}$$

- Cek bilangan Froude Nfr

$$= \frac{Vh}{\sqrt{g \times h}}$$

Zona Thickening

- Total massa solid dalam bak aerasi

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

- Total massa solid dalam BP 2
 $P = \% \text{ biological yang tetap dalam bak aerasi}$
 $\text{Massa solid} = P \times \text{total massa pada bak aerasi}$

- Volume zona thickening
 $V = \text{total massa pada clarifier} : X_r$

- Dimensi zona thickening
 $\text{Luas permukaan atas (A)}$
 $A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$
 $\text{Luas permukaan bawah (A')}$
 $A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$

- Kedalaman total
 $H_{\text{total}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}}$

Zona Sludge

- Berat jenis solid (sg)
 $sg = (60\% \times sg \text{ volatile solid}) + (40\% \times sg \text{ fixed solid})$

- Berat jenis sludge (si)
 $si = (5\% \times 1,78 \text{ g/cm}^3) + (95\% \times 1 \text{ g/cm}^3)$

- Removal total (output sludge di AS)
 $C_n\text{BOD} = C_o - (C_o \times (100\% - 90\%))$

- Berat solid
 $\text{Berat solid} = \text{removal BOD} \times Q$

- Volume solid

$$V_{\text{solid}} = \frac{\text{berat solid}}{\text{berat jenis solid}}$$

- Berat air
 $\text{Berat air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{berat solid}$

- Volume air

$$V_{\text{air}} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat jenis air}}$$

- Volume sludge

$$V_{\text{sludge}} = V_{\text{solid}} + V_{\text{air}}$$

Zona Outlet

- Panjang tiap weir

$$L = \pi \times D_{\text{bak}}$$

- Jumlah v-notch

$$n = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{jarak antar weir} + \text{lebar v notch}}$$

- Debit air yang mengalir tiap V notch

$$Q_{\text{Vnotch}} = \frac{Q_{\text{bak}}}{n}$$

- Panjang basah tiap pelimpah

$$L_i = \frac{2H}{\tan a}$$

- Panjang basah total (Ln)

$$L_n = n \times L_i$$

2.2.9 Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

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.

Keuntungan penggunaan *sludge drying bed* diantaranya adalah rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan, tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan, dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan.

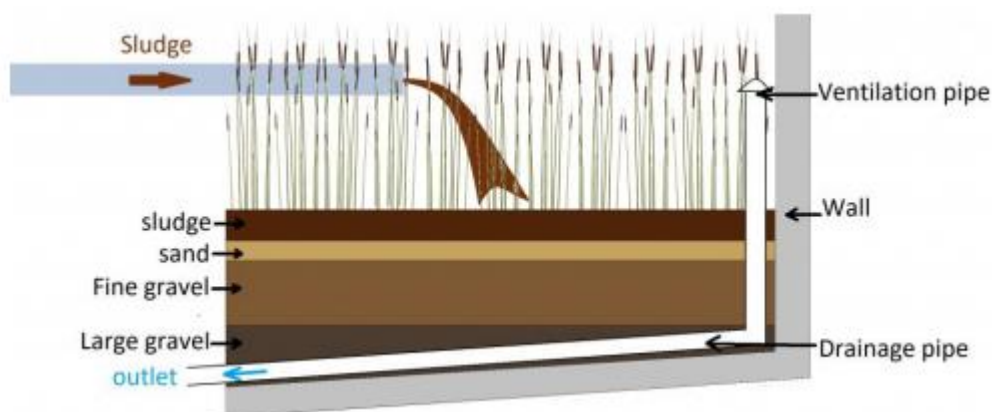
Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, di antaranya :

1. Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya
2. Dibutuhkan lahan yang lebih luas
3. 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*

(Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2. 22 *Sludge Drying Bed*

Sumber: (<https://maji-solutions.com/planted-drying-beds-focus/>)

Kriteria Desain :

- Waktu pengeringan = 5 – 15 hari
- Tebal *sludge cake* = 20 – 30 cm
- Tebal pasir = 23 – 30 cm
- Lebar = 6 m
- Panjang = 6 – 30 m
- Slope = 1%
- Kecepatan aliran pipa (v) = > 0,75 m/s
- Berat air dalam *cake* = 60% - 70%
- Kadar air = 60% - 80%
- Kadar solid = 20% - 40%
- *Sludge loading rate* = 120 – 150 kg/ solid kering/m².tahun

(Sumber: Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse 4th edition*, hal 1570-1572. New York: McGraw-Hill Book Company)

Rumus Perhitungan :

- Tebal media
= tebal pasir + tebal kerikil
- Volume *cake sludge*
$$(V_i) = \frac{\text{Vol lumpur} \times (1 - P)}{1 - P_i}$$
- Volume *sludge drying bed*
$$V = V_i \times t_d$$
- Dimensi *bed*
$$A = \frac{V}{\text{tebal cake}}$$

$$A = L \times B$$
- Kedalaman total
$$H = \text{Kedalaman cake} + \text{kedalaman media}$$
- H_{total}
$$= H + (10\% \times H)$$
- Volume air (V_a)

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

- Kedalaman total dengan *underdrain*

$$H = \frac{\text{Volume air}}{A}$$

- H total
= H cake + H pasir + H kerikil + H *underdrain*

- H *freeboard*
= H total + (20% × H total)

- Debit pipa (Q)

$$(Q) = \frac{V_a}{td}$$

- Luas permukaan pipa

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

- Diameter pipa (D)

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

2.3 Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman % penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah industri gula sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % penyisihan air limbah industri gula beserta sumber yang tertera.

Tabel 2. 5 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

No	Bangunan	Parameter	% Removal	Sumber
1	Saluran Pembawa	-	-	-
2	<i>Bar Screen</i>	-	-	-

No	Bangunan	Parameter	% Removal	Sumber
3	Bak Penampung	-	-	-
4	<i>Grease Trap</i>	Minyak lemak	80%	Kementerian PUPR. 2017. Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan. Jakarta
5	Koagulasi-Flokulasi	-	-	-
6	Sedimentasi	BOD	50-80%	Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy, hal. 497 dan 396
		TSS	50-70%	Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy, hal. 527
7	<i>Activated Sludge</i>	BOD	85-95%	Sperling, Biological Wastewater Treatment Series, tahun 2007 Vol 5 hal
		COD	50-95%	Cavaseno, V.(1987), "Industrial Waste Water and Solid Waste Engineering", McGraw-Hill,Inc., New York. Hal 15
		Sulfida	97-100%	
8	<i>Clarifier</i>	TSS	50-70%	Huisman, L. 1977 Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Delft.hal 12
9	<i>Sludge Drying Bed</i>	-	-	-

2.4 Profil Hidrolis

2.4.1 Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

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

2.4.2 Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup.

a. Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.

b. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus.

c. Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.

d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram.

2.4.3 Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara :

a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.

b. Tambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.

- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

2.4.4 Pompa

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

Tabel 2. 6 Jenis-Jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi utama	Tipe pompa	Kegunaan pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	- Air limbah sebelum diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan effluent
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir lumpur, limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, permasalahan zat-zat kimia, pengaliran lambat untuk air dan air buangan.

(Sumber : Metcalf and eddy, 2004, hal 1469-14)