

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Kertas Halus

Adapun karakteristik dari air limbah Industri Kertas Halus mengandung TSS, BOD, COD, dan Timbal (Pb). Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, limbah cair Industri Kertas Halus memiliki karakteristik dan standar baku mutu diantaranya:

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

pH (Power of Hydrogen) menunjukkan adanya konsentarsi ion hidrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan. Air yang biasanya digunakan untuk minum artinya netral memiliki $\text{pH} = 6-9$. Air dalam kondisi basa memiliki pH air pada rentang 7 – 14. Sedangkan asam akan ada pada rentang pH 0 – 7 (Effendi, 2003).

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya berada pada rentang antara 6,5 sampai 8,5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf & Eddy, 2004).

Kandungan pH pada air buangan industri kertas halus adalah 7,7 dan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan pH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 6,0 – 9,0 (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

2.1.2 Total suspended solid (TSS)

TSS (*Total suspended solid*) merupakan senyawa berbentuk padat yang tersuspensi berada di dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral-mineral misalnya silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil penguraian jasad makhluk hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. TSS menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

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

Kandungan TSS pada air buangan industri kertas halus adalah 11.000 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 70 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

2.1.3 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand atau BOD adalah parameter pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan. Penguraian bahan organik diartikan bahwa bahan organik yang dibutuhkan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energi dari proses oksidasi (Sunu, 2001).

BOD dinyatakan dengan BOD₅ hari pada suhu 20°C dalam mg/L atau ppm. Agar bahan-bahan organik dapat dipecah secara sempurna pada suhu 20°C, dibutuhkan waktu lebih dari 20 hari, tetapi agar lebih praktis diambil waktu lima hari sebagai standar. Inkubasi 5 hari tersebut hanya dapat mengukur kira-kira 68% dari total BOD. Pemeriksaan BOD₅ diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air

buangan domestik atau industri, serta untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis (Sawyer & McCarty, 1978).

Kandungan BOD₅ pada air buangan industri kertas halus adalah 8300 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD₅ yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 70 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

2.1.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

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

Kandungan COD pada air buangan industri kertas halus adalah 15.000 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

2.1.5 Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah (Brass & Strauss, 1981). Timbal (Pb) di dalam perairan dapat meracuni organisme, sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem (Lubis et al., 2015).

Timah hitam di perairan dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal dalam air cukup rendah sehingga kadarnya relatif sedikit. Bahan baar yang mengandung timbal memberikan dampak yang berarti bagi keberadaan unsur tersebut di perairan. Kadar toksisitas timbal di badan perairan dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen (Effendi, 2003).

Kandungan Timbal (Pb) pada air buangan industri kertas halus adalah 0,56 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan Timbal (Pb) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,1 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat 14 menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut (Sugiharto, 1987) dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahap sebagai berikut:

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah-sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah. Berikut ini adalah uraian dari tiap -tiap unit bangunan pengolahan pendahuluan industri kertas halus, antara lain:

2.2.1.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Saluran pembawa biasanya terbuat dari beton. Saluran pembawa ini juga dapat *dibedakan* menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan *beda* ketinggian atau *perbedaan* elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/*slope* (m/m).

Kriteria Perencanaan:

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / *slope* = 1.10^{-3} m/m
- *Freeboard* = 5 - 30%
- Dimensi saluran (Ws) = $B = 2H$

Rumus yang digunakan :

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/detik)

- Kedalaman Saluran (H)

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

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

- Cek Kecepatan

$$v = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{S)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³ /detik)

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

- 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)

- Kemiringan (*Slope*)

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

Keterangan :

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)

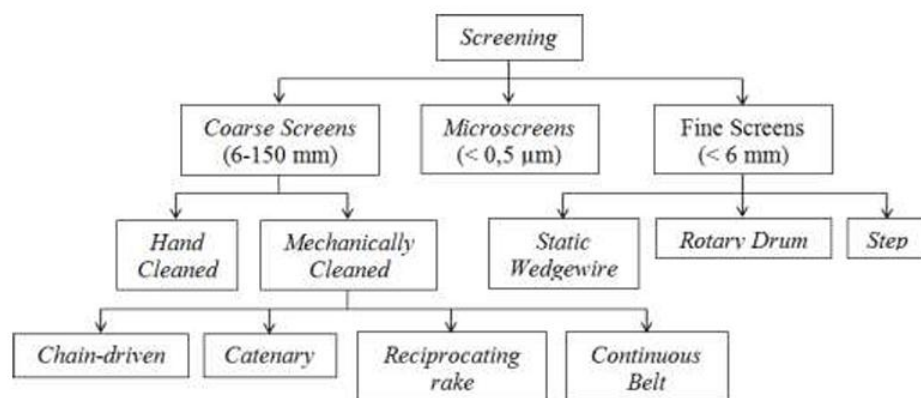
2.2.1.2 Penyaringan (*Screening*)

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 inchi). Sedangkan finescreen mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). Microscreen 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, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf & Eddy,2003).



Gambar 2.1 Bagan Jenis - Jenis Screen

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

Tipe – Tipe Screen

1. Saringan Kasar (*Coarse Screen*)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin.



Gambar 2.2 *Manual Bar screen*

(Sumber : www.equipwater.com, 2023)



Gambar 2.3 *Mechanical Bar screen*

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

Tabel 2.1 Bagian Bagian *Bar screen* Manual dan Mekanik

No	Bagian – Bagian	Manual	Mekanik
1.	Ukuran Kisi		
	a. Lebar	5 – 15 mm	5 -15 mm
	b. Dalam	25 – 38 mm	25 – 38 mm
2.	Jarak Antar Kisi	25 – 50 mm	15 – 75 mm
3.	<i>Sloop</i>	30° - 45°	0° - 30°
4.	Kecepatan Melalui Bar	0,3 – 0,6 m/det	0,6 – 1,0 m/det
5.	<i>Headloss</i>	150 mm	150 - 600 mm

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

2. Saringan Halus (*Fine Screen*)

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan *Total suspended solid* (TSS) dan Biological Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter.

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*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm.

Tabel 2.2 Kriteria Saringan Halus

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
	Halus		$6 \times 10^{-3} - 35 \times 10^{-3}$	<i>Stainless steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Menyisihkan residual dari <i>suspended solid sekunder</i>
<i>Horizontal Reciprocating</i>	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan

<i>Tangential</i>	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

Tabel 2.3 Kemampuan Penyisihan (*Fine Screen*)

Jenis Screen	Ukuran Bukaannya		Kemampuan Penyisihan (%)	
	Inchi	mm	BOD	TSS
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5-30
<i>Rotary Drum Screen</i>	0,01	0,25	25-50	25-45

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)



Gambar 2.4 Ayakan Kawat (*Static Wedge Wire*)



Gambar 2.5 Drum Putar (*Rotary Drum*)



Gambar 2.6 Anak Tangga (*Step Type*)

Rotary Drum Screen memiliki media penyaring yang dibangun dalam silinder yang berputar. Rotary Drum Screen pada umumnya memiliki konstruksi yang berbeda dalam penempatan media penyaring di dalamnya, akan tetapi pada umumnya media penyaring diletakkan mengikuti arah aliran air yang melalui media screen. Air buangan biasanya akan dialirkan melalui rotary drum screen hingga akhir silinder dan melalui screen yang terpasang pada ujung rotary drum screen. Padatan yang tersaring pada screen selanjutnya akan dikumpulkan pada sebuah wadah untuk kemudian disisihkan dari unit proses pengolahan air buangan. Rotary Drum Screen pada umumnya digunakan pada air buangan yang memiliki debit yang berkisar antara 0,03-0,8 m³/s dengan rata-rata penggunaan

pada debit 0,13 m³/s. Rotary Drum Screen dapat dijumpai pada unit pengolah air buangan dengan diameter antara 0,9-2 m dan panjang antara 1,2-4 m.

3. *Microscreen*

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μ m. Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi microscreen berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%.



Gambar 2.7 *Micro Screen*

Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan microscreen tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60o terhadap horizontal. (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2.4 Faktor Bentuk *Screen*

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen (β)	Bentuk
Segi empat dengan sisi	2,42	

runcing		
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber : Qasim, 1985)

Jenis screen yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah coarse screen dengan jenis pembersihan manual. Berikut merupakan kriteria perencanaan *screen*.

Tabel 2.5 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 Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158)

Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

a. Menghitung Bak Kontrol

1) Menghitung Volume Bak

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

$$V = Q \times T$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/s)

T = waktu detensi (s)

V = volume bak kontrol (m³)

2) Menghitung Dimensi Bak

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

Keterangan :

V = volume bak kontrol (m³)

L = panjang bak kontrol (m)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

3) Menghitung kecepatan air pada bak kontrol

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

Keterangan :

v = kecepatan kontrol (m²/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

4) Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol

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

$$freeboard = \%freeboard \times h\ air$$

Keterangan :

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

h_{air} = tinggi air yang melalui *Bar screen*

freeboard = 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)

1) Menghitung panjang *Bar screen*

Panjang *Bar screen* (sisi miring)

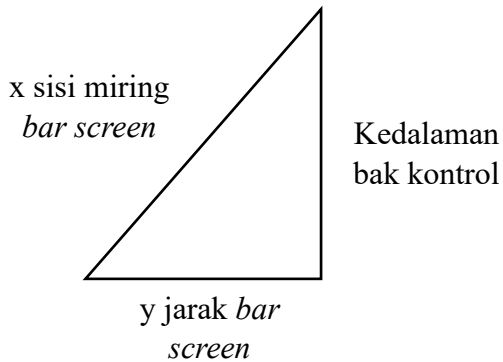
$$\sin\theta = \frac{H_{bak\ kontrol/total}}{x}$$

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

Lebar *Bar screen* / Jarak *Bar screen*

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

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



Keterangan :

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

x = sisi miring *bar screen* (m)

y = Jarak *bar screen* (m)

θ = derajat kemiringan *bar screen* ($^{\circ}$)

2) 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 = lebar bak kontrol (m)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

d = lebar antar kisi (m)

r = jarak bukaan (m)

3) Menentukan lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar bak kontrol (m)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

d = lebar antar kisi (m)

c. Kecepatan

- 1) Kecepatan yang melalui *Bar screen*

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

- 2) Kecepatan aliran saat pembersihan

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

Keterangan :

v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

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

v_i = kecepatan yang lewat *Bar screen* (m/s)

h_{air} = kedalaman air (m)

d. *Headloss* pada *Bar screen*

- 1) *Headloss* saat non clogging

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

- 2) *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 tekanan pada *Bar screen* (m)

v_i = kecepatan yang lewat *Bar screen* (m/s)

v_c = 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/s^2)

2.2.1.3 Bak Penampung

Bak penampung digunakan sebagai unit penyeimbang agar debit dan kualitas limbah yang akan menuju ke unit selanjutnya harus dalam keadaan konstan. Bak penampung sebagai penampungan sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah limbah lainnya. Bak penampung dimanfaatkan apabila terdapat perbaikan unit atau pembersihan unit yang mengharuskan proses pengolahan limbah dihentikan. Gambar bak penampung berbentuk persegi panjang dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Bak Penampung Air Limbah

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak penampung

1. Kriteria Perencanaan

- a. *Freeboard* = 5% - 30%
- b. Waktu Detensi = >2 jam

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

- c. Kedalaman = $\leq 4\text{m}$

2. Rumus yang digunakan

- a. Volume bak penampung

$$V = Q \times Td$$

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

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

T_d = waktu detensi (s)

b. Dimensi bak penampung

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

$V = L \times W \times H$

$L = 2 \times W$

Keterangan :

H = kedalaman bak Kontrol (m)

$Fb = 20\% \times H$

V = volume bak penampung (m^3)

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

c. Luas bak penampung

$A = L \times W$

A = luas bak penampung (m^2)

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung

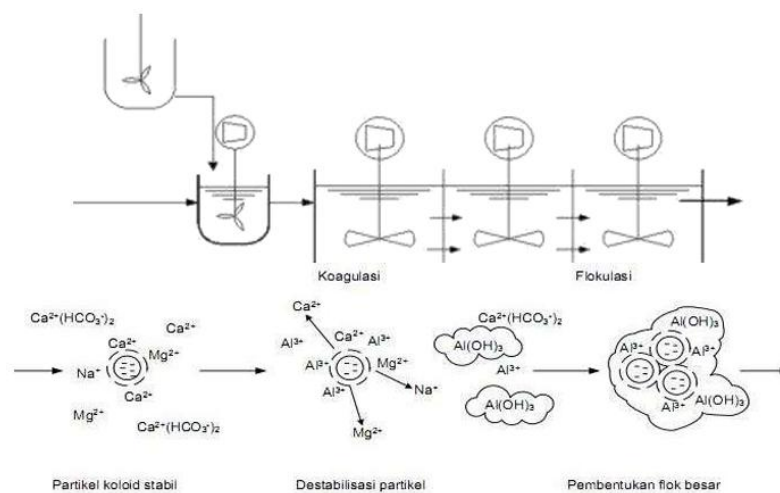
2.2.2 Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

2.2.2.1 Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, 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) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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 pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Gambaran Proses Koagulasi – Flokulasi

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

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 Gambar 2.5 untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2.10 Peralatan *Jar Test*

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

1. Pengadukan

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi-flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

- **Jenis Pengadukan**

Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Sedangkan berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan.

- **Pengadukan Cepat**

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik⁻¹) selama 5 hingga 60 detik

atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

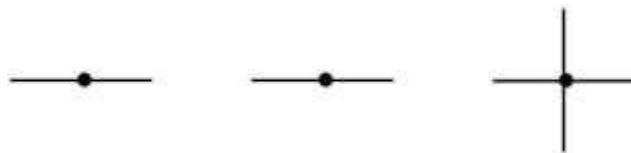
1. Untuk proses koagulasi-flokulasi :
 - Waktu detensi = 20 - 60 detik
 - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$
2. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda) :
 - Waktu detensi = 20 - 60 detik
 - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$
3. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain- lain) :
 - Waktu detensi = 0,5 - 6 menit
 - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

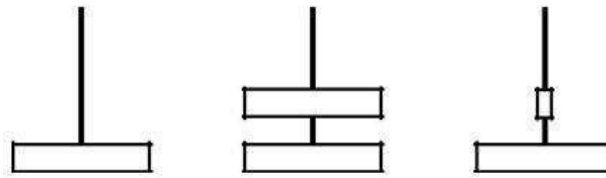
1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan pneumatis

- **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). Bentuk ketiga impeller tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7, serta Gambar 2.8.



(a) tampak atas



(b) tampak samping

Gambar 2.11 Tipe *Paddle*

(Sumber : Qasim, S. R, 1985)



Gambar 2.12 Tipe *Turbine*

(a) turbine blade lurus

(b) turbine blade piringan

(c) turbine blade menyerong

(Sumber : Qasim, S. R, 1985)



(a) propeller 2 blade

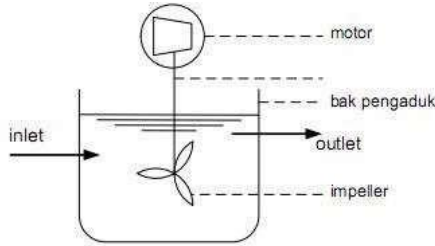
(b) propeller 3 blade

Gambar 2.13 Tipe *Propeller*

(Sumber : Qasim, S. R, 1985)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Sedangkan 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 adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel).



Gambar 2.14 Pengadukan Cepat dengan Alat Pengaduk

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

Tabel 2.6 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 $\geq$	700

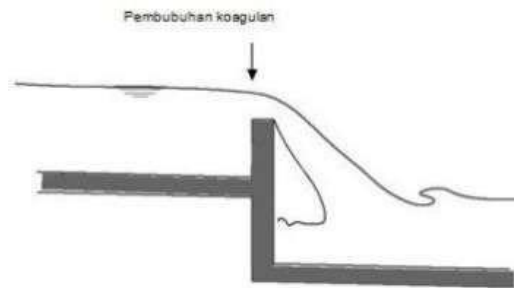
(Sumber : Tom D. Reynolds, Paul A. Richards, 1996)

- **Pengadukan Hidrolis**

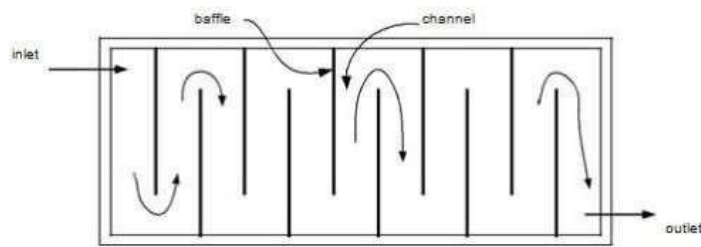
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan **Gambar 2.15**, loncatan hidrolik, dan parshall flume.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (baffled channel pada **Gambar 2.16**, perforated wall, gravel *bed* dan sebagainya. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2.15 Pengadukan Cepat dengan Terjunan



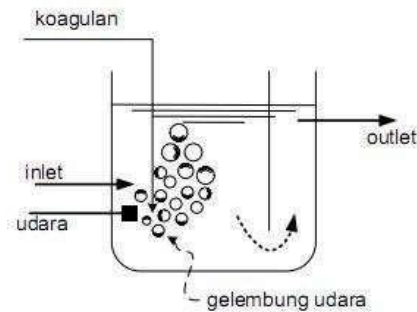
Gambar 2.16 *Baffle Channel*

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

- **Pengadukan Pneumatis**

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air Gambar 2.12. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu

menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2.17 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu. Beberapa jenis koagulan beserta sifatnya dapat dilihat pada **tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Jenis - Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat molekul	Wujud	Densitas Bulk (kg/m ³)	Specific Gravity	Kelarutan Dalam Air	Kadar Kimia (%w/w)	Kadar Air (% w/w)	pH Larutan
Aluminium Sulfat	Alum	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14, 3 \text{ H}_2\text{O}$	599,77	Putih Terang Padat	1000 - 1096	1,25- 1,36	Sekitar 872	: 9,0 – 9,3	-	Sekitar 3,5
	Alum Cair	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 49, 6 \text{ H}_2\text{O}$	1235,71	Putih / terang abu kekuningan Cair	-	1,30- 1,34	Sangat Larut	Al : 4,0 – 4,5	71,2 – 74,5	
	Besi									

Ferri Klorida	(III) Klorida Besi Tri klorida	FeCl_3	162,21	Hijau – Hitam Bubuk	721 - 962	-	Sekitar 719	Fe : Kira kira 34	-	
	Ferri Klorin Cair	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ $\text{FeCl}_3 \cdot 13,1 \text{H}_2\text{O}$	270,30 398,21	Kuning – Coklat Bongkahan	962 - 1026 -	- 1,20-1,48	Sekitar 814 Sangat Terlarut	Fe : 20,3 - 21,0 Fe : 12,7- 14,5	- 56,5 - 62,0	0,1-1,5
Ferri Sulfat	Besi (III) Sulfat Besi Persulfat	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	562,02	Coklat – Kemerahan Cair	1122 - 1154	-	-	Fe : 17,9 - 18,7	56,5 - 64,0	
	Ferri Sulfat Cair	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 36,9\text{H}_2\text{O}$	1064,64	Merah – Coklat Bubuk	-	1,40-1,57	Sangat Larut	Fe : 10,1 - 12,0		0,1-1,5
Ferro Sulfat	<i>Copperas</i>	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	278,02	Hijau Bongkahan Kristal	1010 - 1058	-	-	Fe : Sekitar 20	-	

(Sumber : Qasim, S. R,1985)

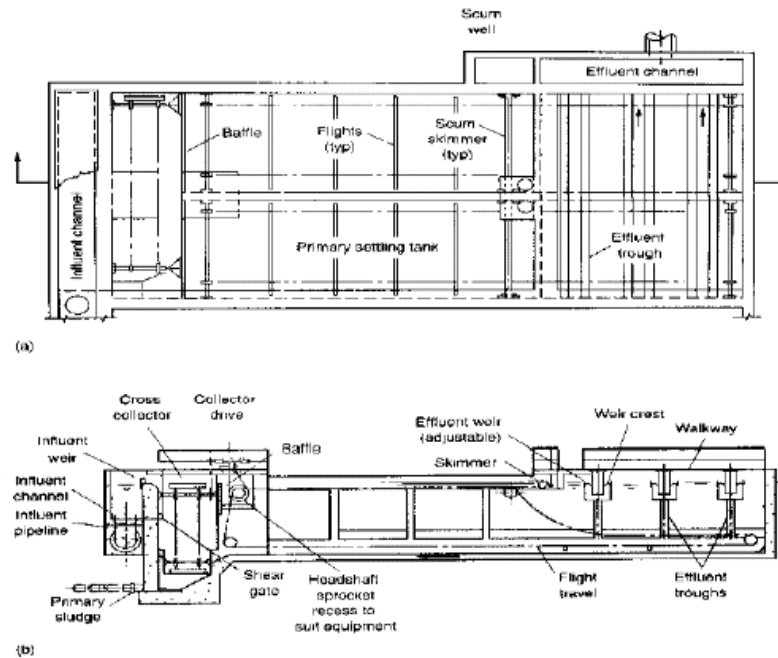
2.2.2.2 Bak Pengendap I (Sedimentasi I)

Bak pengendap I 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 coloumn *settling test* dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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 2.18 Bak Pengendap I

(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 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).

Tabel 2.8 Desain Tangki Sedimentasi I

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment						
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
Weir loading	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250
Primary Settling with Waste Activated sludge Return						
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
Weir loading	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Tabel 2.9 Data Perencanaan untuk Bangunan Sedimentasi I Berbentuk Persegi dan Lingkaran

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	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)

2.2.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

Pengolahan kedua ini mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan – bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kotoran yang ada dan sebagainya. Pengolahan Sekunder akan memisahkan komponen organik terlarut dengan proses biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD dan COD antara 75 – 90 % serta SS sebesar 90%.

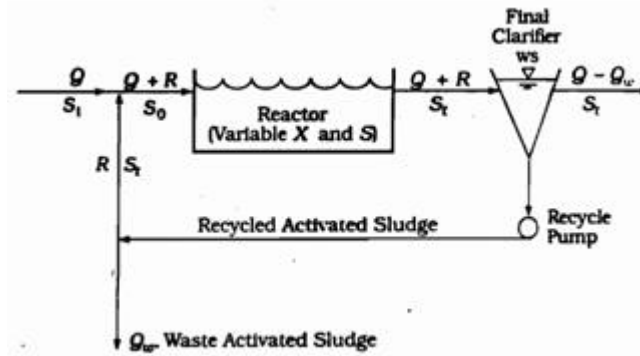
2.2.3.1 *Activated sludge*

Activated sludge (lumpur aktif) adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri aerobik dalam tangki aerasi. Energi yang digunakan bakteri berasal dari oksidasi senyawa organik dan organik karbon. Organik karbon yang digunakan adalah BOD dan COD yang kemudian disebut dengan substrat. Bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan pembentukan sel baru dan hasil lain berupa lumpur.

Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang 25 mengoksidasi material organik menjadi CO₂ dan H₂O, NH₄. dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa Blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Metode pengolahan lumpur aktif (*Activated sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan

menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Untuk alur pengolahan pada *Activated sludge* dapat dilihat pada **Gambar 2.19** berikut ini.



Gambar 2.19 Proses pada *Activated sludge*

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *activated sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun jenis-jenis proses di dalam *activated sludge*, yaitu:

5.4.1 Konvensional

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

5.4.2 Nonkonvensional

a. Step aerasi:

- 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 masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek

b. Tapered Aerasi

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

c. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

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

d. Pure Oxygen

Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.

e. 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.

f. Extended Aeration

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

g. Oxidation Ditch

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan

aliran 0,25 - 0,35 m/s. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

- Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.

- Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan bakteri sehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain :

- Makro nutrient

Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).

- Mikro nutrient

Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni . Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Y.P. Ting, *H. Imai and S. Kinoshita, 1994).

- Komposisi organisme

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik

untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.

- pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H_2SO_4 atau $NaOH$ maupun larutan kapur.

- Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, Mark J, 1931).

Adapun parameter penting untuk design *activated sludge* adalah:

- a. F / M ratio.

Merupakan perbandingan antara substrat (food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.

- b. Rasio resirkular (R).

Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *activated sludge* yang digunakan.

- c. Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).

- d. Waktu detensi (td).

Td adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi

e. Volume bak aerasi (V).

2.2.4 Pengolahan Tersier (Tertiary Treatment)

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

2.2.4.1 Clarifier

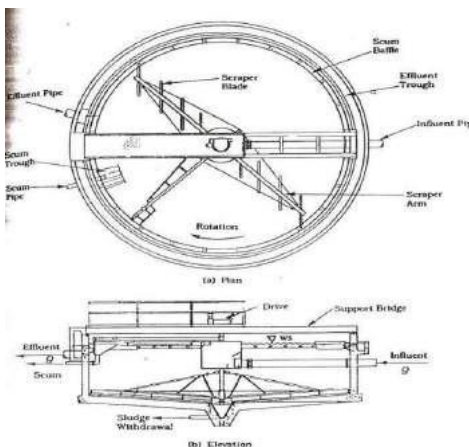
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri pathogen lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan clarifier. Clarifier sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit 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). Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di secondary clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll.

Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, *bedanya* dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.



Gambar 2.20 *Secondary Clarifier*

2.2.4.2 Adsorpsi

Pengolahan air limbah domestik lebih dominan menggunakan pengolahan biologis baik secara aerob maupun anaerob. Hal ini dinilai lebih efektif dari pada proses fisik dan kimia karena kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan

yang ada dalam air limbah. Namun tidak semua komponen pencemar dapat didegradasi oleh mikroorganisme pada proses biologis. Dalam beberapa kasus, pengobatan biologis tidak dapat mengolah air limbah secara efektif karena komponen bandel hadir dalam air limbah. Oleh karena itu, proses fisik-kimia dapat menjadi salah satu solusi yang tepat (Getzer, et al., 2004). Diantara berbagai macam proses pengolahan secara fisik, adsorpsi karbon aktif paling sering digunakan untuk menyerap bahan organik volatil dan bioresistant pada air limbah. Kandungan polutan organik pada air limbah yang melewati kompartemen karbon aktif akan diserap dan kemudian terendapkan.

Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang paling sering digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Hal ini disebabkan karena karbon aktif memiliki daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik jika dibandingkan jenis adsorben lainnya (Walas, 1990). Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi, yaitu terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi pada karbon aktif terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radial secara bebas pada permukaan karbon dengan atom atom oksigen maupun nitrogen. Karbon aktif yang baik harus memiliki luas area permukaan yang cukup besar agar daya adsorpsinya juga besar (Sudibandriyo, et al., 2003). Karbon aktif merupakan arang dengan struktur amorphous atau mikrokristalin yang sebagian besar terdiri atas karbon bebas dan memiliki internal surface. Kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsi. Aktivitas penyerapan karbon aktif tergantung dari kandungan senyawa karbon dalam bahan, umumnya terdiri dari 85-95% karbon bebas (Ramdja, 2008).

Proses pengolahan air limbah domestik umumnya dipadukan dengan metode adsorpsi karbon aktif. Pengolahan dengan metode ini berfungsi untuk membunuh mikroorganisme, menyetarakan kandungan kimia dan menyerapnya, netralisasi limbah asam maupun basa, memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang

tak terlarut, filtrasi, mengoksidasi warna dan racun, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak serta meningkatkan efisiensi instalasi flotasi. Pada prinsipnya proses yang terjadi pada pengolahan air limbah domestik dengan karbon aktif ini adalah metode adsorpsi. Metode ini merupakan proses pemisahan air limbah dari pencemar yang terlarut di dalamnya dengan cara penyerapan, seperti partikel-partikel *diskrit*, kation-kation, maupun kandungan bau pada air limbah. Adsorpsi adalah suatu fenomena meningkatnya konsentrasi suatu partikel tertentu antara dua fase suatu material yang diserap (adsorbat) oleh bahan penyerap (adsorben).

Karbon aktif biasanya digunakan dalam bentuk bubuk (powder) dengan ukuran < 200 mesh atau dalam bentuk butiran (granular) dengan diameter $> 0,1$ mm. Ukuran partikel dan luas permukaan (m^2 / gr) adalah sifat penting dari karbon aktif untuk digunakan sebagai adsorben. Pengolahan air limbah biasanya menggunakan ukuran partikel berbentuk granular. Luas permukaan atau ukuran partikel pada karbon aktif juga mempengaruhi kecepatan daya adsorpsinya. Karbon aktif dalam bentuk granular dapat menyerap zat organik terlarut pada konsentrasi hingga 100 mg/ dalam waktu 1 jam dengan pengadukan yang cukup. Kelebihan lain dari karbon aktif adalah prospek menghasilkan effluen dengan konsentrasi zat organik yang kecil. Karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben sehingga mampu menyerap kandungan pencemar yang terlarut maupun tersuspensi di dalam air limbah domestik. pH akan berpengaruh terhadap muatan permukaan adsorben, derajat ionisasi, dan kesetimbangan kimia. Waktu adsorpsi juga mempengaruhi proses adsorpsi, karena dalam prosesnya dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan adsorben menyerap zat pencemar (Nurhayati, 2018).

Karbon aktif juga digunakan untuk menghilangkan bau, warna, logam berat dan pengotor-pengotor organik (Said, 2010). Sebagai senyawa karbon, kemampuan daya adsorpsinya dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Pada proses ini terjadi penghilangan kadar hidrogen (H_2), gas-gas dan air pada permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi pada karbon aktif terjadi karena

adanya gugus aktif yang terbentuk akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Proses aktivasi pada karbon aktif dapat terjadi melalui dua cara, yaitu aktivasi secara kimia dan fisika.

Tabel 2.10 Kriteria Perencanaan Adsorpsi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Volume <i>flowrate</i> (V)	50-400	m ³ /jam
Volume <i>Bed</i> (Vb)	10-50	m ³
Luas penampang	5-30	m ²
Panjang <i>bed</i> media	1,8-4	m
Densitas arang	350-550	kg/m ³
Kecepatan aliran <i>bed</i> (vf)	5-15	m/jam
Waktu kotak <i>bed</i> kosong	5-30	menit
Waktu kontak efektif	2-10	menit
Waktu operasi	100-600	hari

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

2.2.4.3 Pengolahan Lumpur

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan.

Sludge dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

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

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

- Mereduksi kadar lumpur

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

2.2.4.4 *Sludge Drying Bed*

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 :

- 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. (Metcalf & Eddy, 2003).

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

- Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya,
- Dibutuhkan lahan yang lebih luas,
- Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge* / lumpur. (Metcalf & Eddy, 2003)

Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya :

- *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
- *Paved Sludge Drying Bed*
- *Artificial Media Sludge Drying Bed*
- *Vacuum Assisted Sludge Drying Bed*

- *Solar Sludge Drying Bed* (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.4.5 Conventional Sand Sludge Drying Bed

Conventional Sand Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / *sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm.

Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / *sludge* ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy, 2003).

Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering (Metcalf & Eddy, 2003).

Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah *sludge* mengering. *Sludge* / lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam *sludge*/ lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila *sludge* / lumpur telah dikeruk menggunakan *scraper* atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan (Metcalf & Eddy, 2003).

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau (Metcalf & Eddy, 2003).

Sistem *Underdrain* adalah sistem pengaliran air di bawah media setelah air melewati proses penyaringan. Persyaratan sistem *underdrain* adalah :

- Dapat mendukung media di atasnya
- Pendistribusian merata

Pada bagian dasar terdiri dari sistem perpipaan yang tersusun dari lateral dan *manifold*, dimana air diterima melalui lubang orifice yang diletakkan pada pipa lateral.

Manifold dan lateral ditunjukkan agar distribusi merata, *headloss* 1-3 m dengan kriteria sistem *manifold* – lateral :

- Perbandingan luas orifice = 0,0015 – 0,005
- Perbandingan luas lateral/orifice = 2 – 4
- Perbandingan luas *manifold*/lateral = 1,5 – 3
- Diameter orifice = 0,6 – 2 cm
- Jarak antar orifice = 7,5 – 30 cm
- Jarak antar lateral = orifice

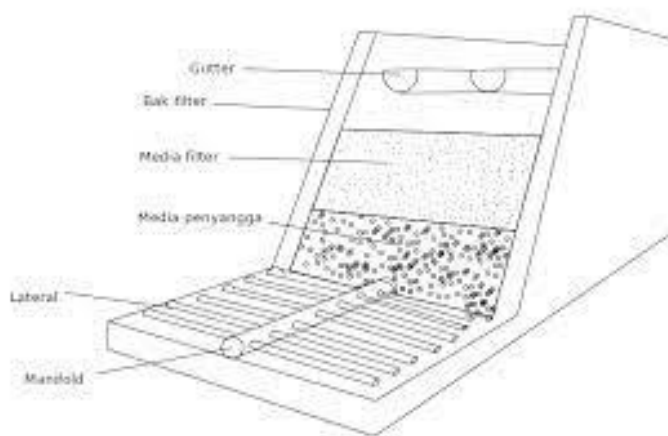
Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.11 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	<i>Sludge</i> loading rate	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal <i>bed</i>	20-30	cm	
5.	Lebar <i>bed</i>	5-8	m	
6.	Panjang <i>bed</i>	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size 	0,3-0,75	mm	
10.	V air dalam inlet	0,75	m/detik	

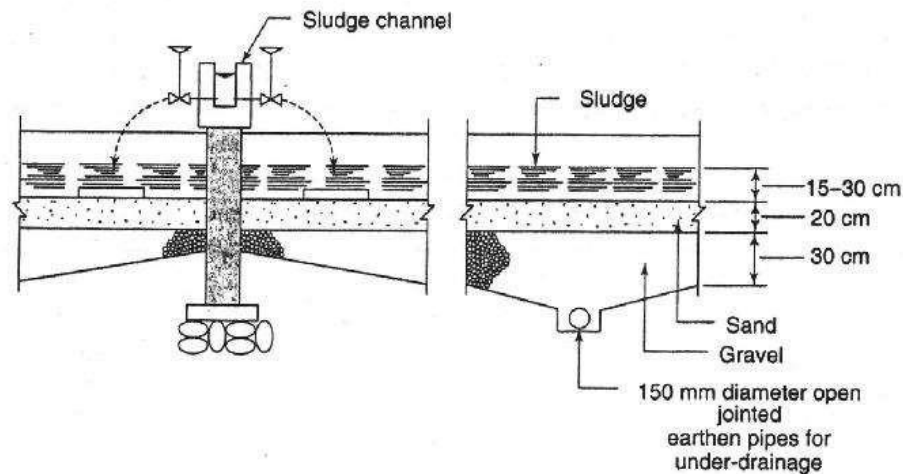
No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200-300	mm	
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4 th Edition., 2003
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
15.	Koef. Keseragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	<i>Slope</i>	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)



Gambar 2.21 *Manifold*

(Sumber : Ali Masduqi Abdul F. Assomadi, 2012)



Gambar 2.22 Skema *Sludge Drying Bed*

(Sumber : Ali Masduqi Abdul F. Assomadi, 2012)

2.2.5 Aksesoris Perancangan Bangunan

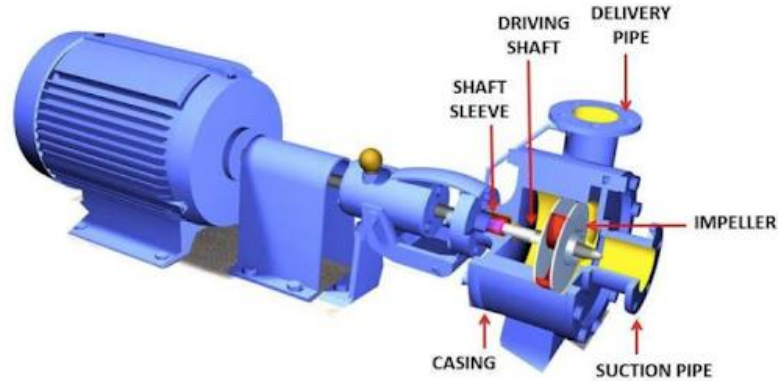
2.2.5.1 Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan pengaliran yang berupa perbedaan tekanan, ketinggian, atau hambatan gesek. Pada prinsipnya pompa dapat mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida, energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa memiliki dua kegunaan, yaitu untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lainnya dan untuk mensirkulasikan cairan sekitar sistem. Pompa sendiri memiliki bermacam-macam jenis, yaitu:

1. Sentrifugal *Pump*

Sentrifugal *Pump* merupakan pompa dengan susunan atas sebuah impeller dan saluran inlet di tengah-tengahnya. Ketika impeller berputar, fluida akan mengalir menuju casing di sekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penggunaan

pompa sentrifugal di dunia mencapai angka 80% karena penggunaannya yang cocok untuk mengatasi jumlah fluida yang besar daripada pompa positive-displacement.



Gambar 2.23 *Sentrifugal Pump*

(Sumber: <http://majalah1000guru.net/2019/02/pompa-sentrifugal-kerja-manfaat/>)

2. Rotary Pump

Rotary Pump adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Keuntungan dari pompa ini adalah efisiensi yang tinggi karena secara natural dapat mengeluarkan udara dari pipa alirannya, serta dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengeluarkan udara tersebut secara manual. Dan untuk kelemahan dari pompa ini adalah apabila pompa bekerja pada kecepatan yang terlalu tinggi, maka fluida kerjanya justru dapat menyebabkan erosi pada sudut-sudut pompa.



Gambar 2.24 *Rotary Pump*

(Sumber: <https://www.iwakiumps.jp/en/products/rotary/>)

3. Gear Pump

Gear Pump merupakan jenis pompa roda gigi positif yang dapat memindahkan cairan dengan berulang kali menutup volume tetap menggunakan roda gigi yang saling mengunci, dan mentransfernya secara mekanis menggunakan pemompaan siklik yang memberikan aliran pulsa-halus mulus sebanding dengan kecepatan rotasi gir-nya.

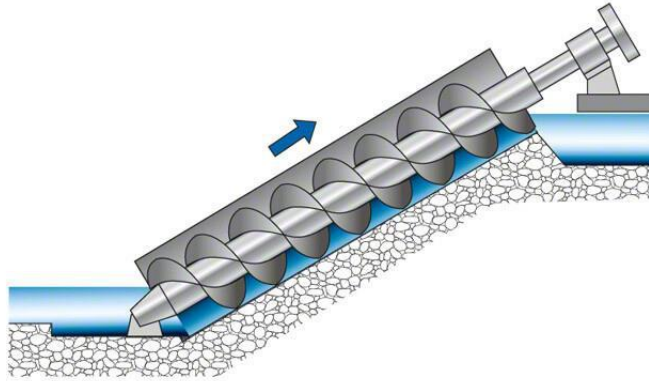


Gambar 2.25 Gear Pump

(Sumber: https://www.iwakiumps.jp/en/products/rotary/gm_v/)

4. Screw Pump

Screw Pump merupakan pompa yang di gunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitive terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Perisin kerja Screw di temukan oleh seorang engineer prancis bernama Rene Moneau, sehinga sering di sebut juga dengan Moneau pump.



Gambar 2.26 *Screw Pump*

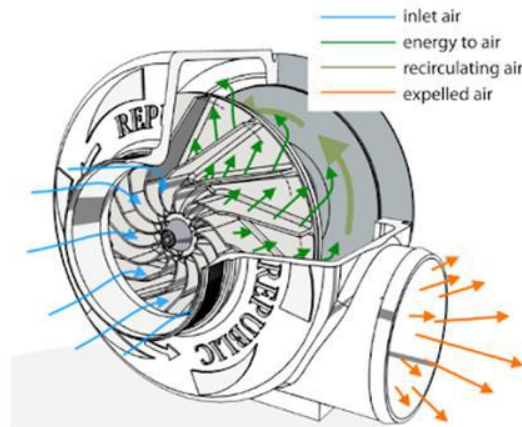
(Sumber: <https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/archimedean-screw-pump-1117986>)

2.2.5.2 Blower

Blower merupakan mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan dan sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Blower juga merupakan mesin yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ketekanan akhir melebihi dari 40 psig. Menurut klasifikasinya blower dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. **Blower Sentrifugal**

Blower Sentrifugal merupakan blower dengan memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. Blower sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm².



Gambar 2.27 Blower Sentrifugal

(Sumber: <https://sarmansilverius.blogspot.com/2017/05/prinsip-kerja-blower-centrifugal.html>)

2. Blower Positive Displacement

Blower Positive Displacement merupakan blower yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah blower. Blower ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan system nya bervariasi. Blower ini berputar lebih pelan daripada blower sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.



Gambar 2.28 *Blower Positive Displacement*

(Sumber: <https://www.industry-plaza.com/positive-displacement-blower-series-gm-p233494.html>)

2.2.5.3 Pipa

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal maka dibutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris pipa adalah untuk membangun jalur belokan, membangun jalur percabangan, mendukung metode penyambungan, dan menyambung antar pipa. Adapun aksesoris yang dimiliki pipa terdiri dari:

1. Pipa PVC

Pipa PVC (Polyvinyl Chloride) adalah pipa berbahan polivinil klorida yang ringan, tahan lama, dan termoplastik. Pipa ini banyak digunakan untuk sistem air bersih, limbah, irigasi, dan ventilasi. Keunggulannya meliputi bobot ringan, mudah dipasang, tahan korosi, serta memiliki isolasi termal dan listrik yang baik, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi konstruksi dan pemeliharaan. Adapun macam ukuran dari pipa PVC yaitu sebagai berikut.

PIPA PVC RUCIKA STANDARD UNTUK APLIKASI AIR BERSIH & AIR LIMBAH							
PRODUK	DN		OD (mm)	4 M / BATANG		5,8 M / BATANG*	
	mm	inch		AW**	D***	AW**	D***
 RUCIKA Standard	16	½"	22	Rp. 31.500,-	*	Rp. 46.700,-	*
	20	¾"	26	Rp. 42.700,-	*	Rp. 64.000,-	*
	25	1"	32	Rp. 58.400,-	*	Rp. 87.100,-	*
	35	1½"	42	Rp. 87.200,-	Rp. 54.800,-	Rp. 130.900,-	Rp. 82.500,-
	40	1½"	48	Rp. 100.200,-	Rp. 61.900,-	Rp. 150.100,-	Rp. 92.500,-
	50	2"	60	Rp. 128.100,-	Rp. 79.400,-	Rp. 191.600,-	Rp. 118.800,-
	65	2½"	76	Rp. 186.700,-	Rp. 107.200,-	Rp. 279.700,-	Rp. 160.600,-
	75	3"	89	Rp. 262.900,-	Rp. 142.300,-	Rp. 394.100,-	Rp. 213.000,-
	100	4"	114	Rp. 435.600,-	Rp. 223.800,-	Rp. 652.900,-	Rp. 335.300,-
	125	5"	140	Rp. 689.900,-	Rp. 344.500,-	Rp. 1.034.800,-	Rp. 516.200,-
	150	6"	165	Rp. 967.600,-	Rp. 454.300,-	Rp. 1.451.400,-	Rp. 680.900,-
	200	8"	216	Rp. 1.623.500,-	Rp. 798.800,-	Rp. 2.435.300,-	Rp. 1.197.700,-
	250	10"	267	Rp. 2.510.200,-	Rp. 1.315.700,-	Rp. 3.765.200,-	Rp. 1.973.200,-
	300	12"	318	Rp. 3.539.300,-	Rp. 1.846.700,-	Rp. 5.308.800,-	Rp. 2.770.000,-

PIPA PVC RUCIKA JIS K-6741 / K-6742 UNTUK APLIKASI AIR BERSIH & AIR LIMBAH							
PRODUK	DN		OD (mm)	4 M / BATANG		5,8 M / BATANG*	
	mm	inch		VP**	VU***	VP**	VU***
 RUCIKA JIS	16	½"	22	Rp. 57.000,-	*	Rp. 81.900,-	*
	20	¾"	26	Rp. 68.200,-	*	Rp. 99.000,-	*
	25	1"	32	Rp. 99.000,-	*	Rp. 143.100,-	*
	35	1½"	42	Rp. 133.600,-	*	Rp. 192.900,-	*
	40	1½"	48	Rp. 173.500,-	Rp. 91.000,-	Rp. 251.300,-	Rp. 131.600,-
	50	2"	60	Rp. 246.300,-	Rp. 114.800,-	Rp. 356.900,-	Rp. 165.900,-
	65	2½"	76	Rp. 316.800,-	Rp. 181.500,-	Rp. 459.200,-	Rp. 262.800,-
	75	3"	89	Rp. 504.600,-	Rp. 265.200,-	Rp. 731.000,-	Rp. 384.700,-
	100	4"	114	Rp. 779.700,-	Rp. 398.000,-	Rp. 1.130.200,-	Rp. 576.900,-
	125	5"	140	Rp. 976.000,-	Rp. 599.200,-	Rp. 1.415.000,-	Rp. 868.800,-
	150	6"	165	Rp. 1.465.100,-	Rp. 861.400,-	Rp. 2.124.500,-	Rp. 1.249.100,-
	200	8"	216	Rp. 2.215.900,-	Rp. 1.437.100,-	Rp. 3.212.400,-	Rp. 2.083.700,-
	250	10"	267	Rp. 3.376.100,-	Rp. 2.128.200,-	Rp. 4.894.600,-	*
	300	12"	318	Rp. 4.789.100,-	Rp. 2.988.100,-	Rp. 6.943.600,-	*

Gambar 2.29 Diameter dan harga pipa PVC merek Rucika

(Sumber: <https://www.rucika.co.id/wp-content/uploads/2022/08/ukuran-pipa-pvc.png>)

2. Pipa Cast Iron

Pipa cast iron (besi cor) adalah pipa kuat dan tahan lama yang digunakan untuk saluran air, limbah, dan drainase. Pipa ini tahan tekanan tinggi, meredam kebisingan, dan cocok untuk infrastruktur besar. Namun, bobotnya berat dan rentan korosi eksternal tanpa lapisan pelindung. Adapun macam ukuran pipa *Cast Iron* yaitu sebagai berikut.

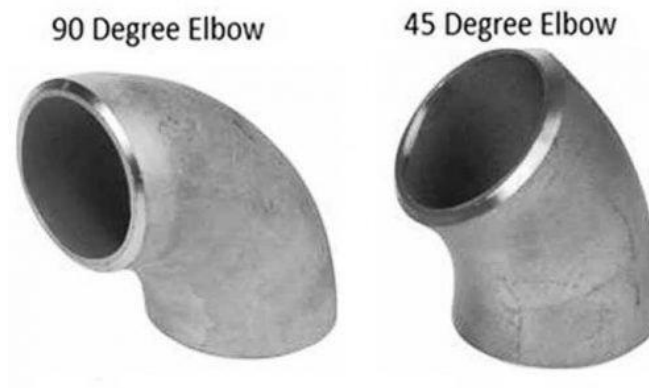


Product code	Dia	A Max O/dia	B Min I/dia	Min. section	C Metre lengths available	Nominal wt/kg
156363	50	60	47.5	3	3	12.5
156455	70	80	68.25	3	3	17.0
156563	100	112	97.5	3	3	24.5
156736	125	137	121.87	3.5	3	34.3
156827	150	162	146.25	3.5	3	41.0
156951	200	212	195	4	3	67.4
157049	250	276.5	243.75	4.5	3	97.3
157114	300	328.5	292.5	5	3	126.8
157171	400	431	390	5	3	177.7
157187	500	534	487.5	5.2	3	230.0
157203	600	637	585	5.8	3	302.0

Gambar 2.30 Diameter Cast Iron Pipe Above Ground merk Saint Gobain PAM UK

3. *Elbow*

Elbow merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (*Elbow*). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45°.



Gambar 2.31 *Elbow 90° dan 45°*

(Sumber: <https://steeltubes.co.in/manufacturers-suppliers/ss-304-elbows-bends/>)

4. Tee

Tee merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris *tee* berbentuk seperti huruf “T”, namun ada beberapa kasus *Tee* berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya Y-Branch.



(a) *Tee* bentuk



(b) *Y branch*

Gambar 2.32 (a) *Tee* bentuk (b) *Y branch*

(Sumber: <https://shachatechnoforge.com/id/product-details/pipe-fitting/tee>)

<https://cnmalleable.en.made-in-china.com/product/WSlmZiTUJDpY/China-Plumbing-3-4-Malleable-Iron-Tee-Equal-Lateral-Y-Branches-Pipe-Fittings.html>

2.2.5.4 Diffuser

Diffuser adalah perangkat yang digunakan untuk menyebarkan fluida, seperti udara atau gas, secara merata ke dalam suatu medium atau ruang. Dalam aplikasi pengolahan air limbah, *diffuser* berfungsi untuk mendistribusikan udara atau oksigen ke dalam air, mendukung proses aerasi, dan membantu mikroorganisme mengurai bahan organik. Di sistem ventilasi atau HVAC, *diffuser* menyebarkan udara yang keluar dari saluran agar aliran udara merata dan nyaman, mengurangi kecepatan udara dan meminimalkan kebisingan. Secara umum, *diffuser* meningkatkan efisiensi proses dan kinerja sistem dengan distribusi fluida yang lebih seragam. berikut merupakan spesifikasi dari *Fine bubble disc diffuser* merek Holly Tech.

Model	HLBQ-170	HLBQ-215	HLBQ-270	HLBQ-350	HLBQ-650
Bubble Type	Coarse Bubble	Fine Bubble	Fine Bubble	Fine Bubble	Fine Bubble
Image					
Size	6 inch	8 inch	9 inch	12 inch	675*215mm
MOC	EPDM/Silicone/PTFE – ABS/Strengthened PP-GF				
Connector	3/4"NPT male thread				
Membrane Thickness	2mm	2mm	2mm	2mm	2mm
Bubble Size	4-5mm	1-2mm	1-2mm	1-2mm	1-2mm
Design Flow	1-5m ³ /h	1.5-2.5m ³ /h	3-4m ³ /h	5-6m ³ /h	6-14m ³ /h
Flow Range	6-9m ³ /h	1-6m ³ /h	1-8m ³ /h	1-12m ³ /h	1-16m ³ /h
SOTE	≥10%	≥38%	≥38%	≥38%	≥40%
	(6m submerged)	(6m submerged)	(6m submerged)	(6m submerged)	(6m submerged)
SOTR	≥0.21kg O ₂ /h	≥0.31kg O ₂ /h	≥0.45kg O ₂ /h	≥0.75kg O ₂ /h	≥0.99kg O ₂ /h
SAE	≥7.5kg O ₂ /kw.h	≥8.9kg O ₂ /kw.h	≥8.9kg O ₂ /kw.h	≥8.9kg O ₂ /kw.h	≥9.2kg O ₂ /kw.h
Headloss	2000-3000Pa	1500-4300Pa	1500-4300Pa	1500-4300Pa	2000-3500Pa
Service Area	0.5-0.8m ² /pcs	0.2-0.64m ² /pcs	0.25-1.0m ² /pcs	0.4-1.5m ² /pcs	0.5-0.25m ² /pcs
Service Life	> 5 years				

Gambar 2.33 Spesifikasi *Fine bubble disc diffuser* merek Holly Tech

(Sumber: <https://www.hollyep.com/epdm-membrane-fine-bubble-disc-diffuser-product/>)

2.3 Persen Removal

Adapun persen removal pada masing-masing unit pengolahan limbah industri kertas halus dari berbagai sumber dapat dilihat pada **Tabel 2.12** berikut.

Tabel 2.12 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Bak pengendap I (sedimentasi)	TSS	80 – 90%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 497
<i>Activated sludge</i>	BOD	85 – 95%	Reynolds & Richards, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 1982 Hal 441
	COD	50 – 95%	Cavaseno, Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering, 1987
Clarifier	TSS	50 – 70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 497

Adsorpsi	BOD	98,74%	Rochma, N., & Titah, H. S. (2017). Penurunan BOD dan COD limbah cair industri batik menggunakan karbon aktif melalui proses adsorpsi secara batch. Jurnal Teknik ITS, 6(2), F325-F329.
	COD	92,3%	
	Pb	90 – 100%	Thangarajah, V, et. al. (2020) Aqueous Lead Removal under Optimized Conditions Using Phosphoric Acid Activated Coconut Coir Activated Carbon

(Sumber : Penulis, 2025)

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis disajikan secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan untuk menyatakan elevasi unit pengolahan (*influen - effluen*) dan perpipaan. Hal ini dilakukan untuk memastikan aliran air dapat mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk menghindari terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut :

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:

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu
- d. Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus.

B. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :

1. Kehilangan tekanan pada perpipaan

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

2. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan mengekuivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekuivalen sekaligus S .

3. Kehilangan tekanan pada pompa

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

4. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

C. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga 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. Menambahkan kehilangan tekanan antara bangunan kedua dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum bangunan kedua demikian seterusnya hingga bangunan terakhir