

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 konsentrasi ion hidrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan. Air yang biasanya digunakan untuk minum artinya netral memiliki 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 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 di atas 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

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

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 (m^2)

Q = debit limbah (m^3 /detik)

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

- Jari-jari Hidrolis

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

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Kemiringan (*Slope*)

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

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*)

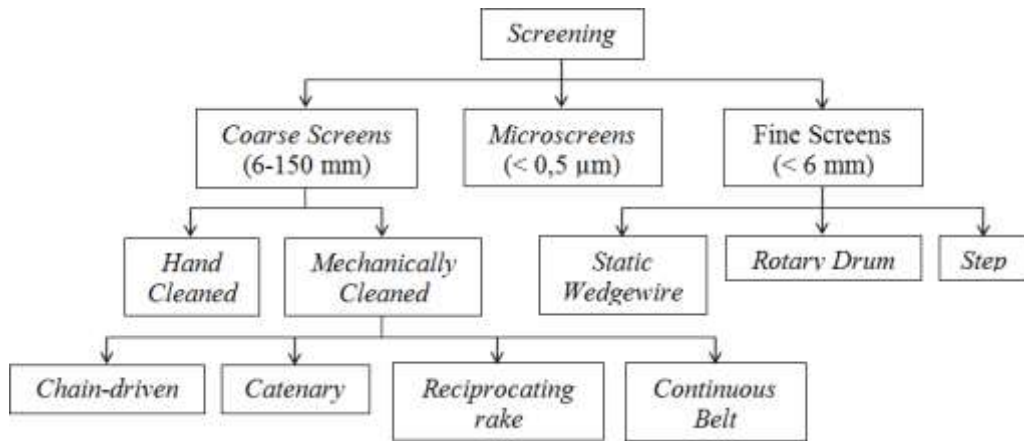
Bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

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 *finescreeen* 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 inci). 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 (*Preliminary 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)

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 pengolahan 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 µm. Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microscreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%.

Prinsip yang digunakan pada jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakkan 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 60° terhadap horizontal. (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2.4 Faktor Bentuk Screen

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen (β)	Bentuk
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	
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. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

- Jumlah batang kisi (n)

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

Keterangan :

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar screen (m)

- Lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

d = lebar screen (m)

- Kecepatan pada *bar screen*

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{W_c \times h}$$

Keterangan :

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

Q = debit yang melalui kisi (m³/detik)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

- Tinggi kisi (h)

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

Keterangan :

H = kedalaman saluran (m)

- Panjang kisi (x)

$$x = \frac{h}{\sin \alpha}$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45°- 60°)

- Jarak kemiringan kisi (L)

$$L = \cos \alpha \cdot x$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45°- 60°)

x = panjang kisi (m)

- Headloss pada *bar screen* (saat *clogging*)

$$x = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{V_{ic}^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan :

H_f = headloss (m)

V_{ic} = kecepatan melalui kisi saat clogging ($V_i \times 2$) (m/detik)

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

C_c = koefisien headloss untuk *bar screen* saat *clogging* (0,6)

(Sumber: Metcalf & Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320)

- Headloss pada *bar screen* (saat *non clogging*)

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

Keterangan :

H_f = headloss (m/detik)

V_i = kecepatan melalui kisi (m/detik)

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

C_c = koefisien headloss untuk *bar screen* saat *clogging* (0,6)

(Sumber: Metcalf & Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320)

2.2.1.3 Bak Equalisasi

Tujuan dari equalisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi karakteristik air limbah untuk memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan jenis bak equalisasi bervariasi dengan jumlah sampah dan variabilitas aliran air limbah. Wadah harus memiliki ukuran yang cukup untuk menyerap fluktuasi limbah yang disebabkan oleh variasi dalam penjadwalan produksi pabrik dan untuk meredam *batch* terkonsentrasi yang dibuang atau tumpah secara berkala ke saluran pembuangan. Bak equalisasi biasanya disediakan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang dapat mengendap dari pengendapan di cekungan. Tujuan penggunaan bak equalisasi untuk fasilitas pengolahan industri menurut (Droste, 1997) yaitu:

- a. Untuk memberikan peredaman fluktuasi organik yang memadai untuk mencegah shock loading atau pembebanan kejutan pada sistem biologis.
- b. Untuk memberikan kontrol pH yang memadai atau untuk meminimalkan persyaratan kimia yang diperlukan untuk netralisasi.

- c. Untuk meminimalkan lonjakan aliran ke sistem pengolahan fisik-kimia dan memungkinkan laju umpan kimia yang kompatibel dengan peralatan makan.
- d. Untuk memberikan pakan terus menerus ke sistem biologis selama periode ketika pabrik tidak beroperasi.
- e. Menyediakan kapasitas untuk pembuangan limbah yang terkontrol ke sistem kota untuk mendistribusikan beban limbah lebih merata.
- f. Untuk mencegah konsentrasi tinggi bahan beracun memasuki pabrik pengolahan biologis.

Bak equalisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak equalisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004). Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut.

- Volume bak equalisasi (V)

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V = volume bak equalisasi (m³)

Q = debit limbah (m³/detik)

t_d = waktu detensi (s)

- Dimensi bak equalisasi

$$V = L \times B \times H$$

Keterangan :

V = volume bak equalisasi (m³)

L = Panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = kedalaman air pada bak equalisasi (m)

- Kedalaman total

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

Keterangan :

H total = kedalaman bak (m)

H = ketinggian air dalam bak equalisasi (m)

$$\textit{Freeboard} = 5 - 30 \%$$

Apabila dalam bak ekualisasi terjadi penghomogenan debit limbah, maka diperlukan sistem pengadukan, dapat menggunakan sistem aerasi. Untuk menghitung daya blower yang digunakan rumus sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004).

- Daya blower

$$\text{Daya blower (Pw)} = \frac{w \times R \times T1}{550 \times n \times e} \times \left(\frac{p2}{p1} \right)^n - 1$$

Keterangan :

w = berat aliran udara

R = konstanta gas universal untuk udara (J/mole.K (SI units) atau ft.lb/(lb air).°R (US unit))

T1 = temperature absolut inlet = 20°C = 16°R

P2 = tekanan absolut outlet

P1 = tekanan absolut inlet

n untuk *single stage centrifugal blower* = 0,283

Faktor konversi ft.lb/s ke hp = 550

Efisiensi (E) = 0,7 – 0,9

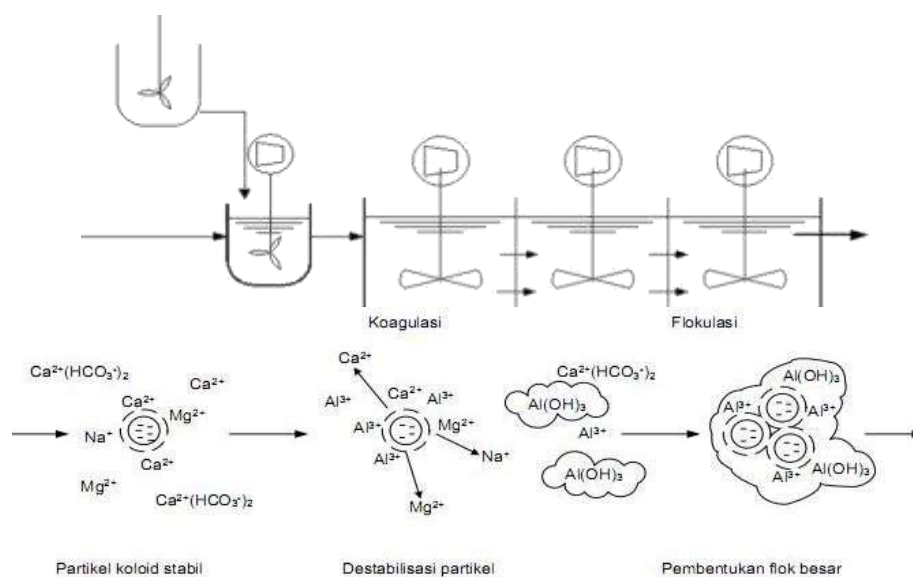
(Sumber : Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition. Hal 441)

2.2.1 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 2.4**.



Gambar 2.4 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 2.5 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 detik^{-1}
2. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda) :
 - Waktu detensi = 20 - 60 detik
 - *G* = 1000 - 700 detik^{-1}
3. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain) :
 - Waktu detensi = 0,5 - 6 menit
 - *G* = 1000 - 700 detik^{-1}

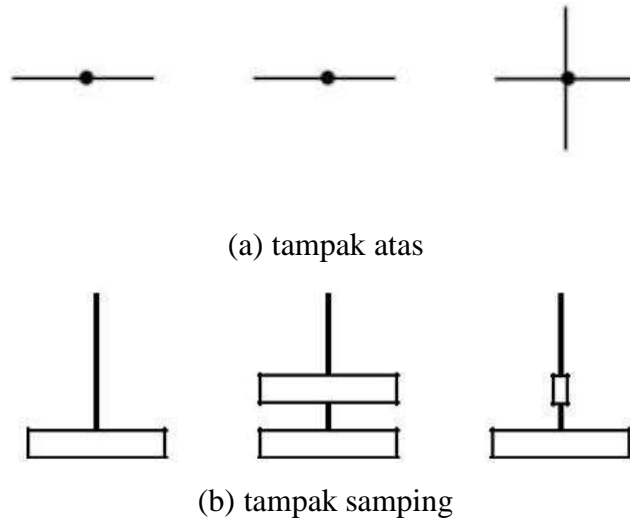
Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

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* (balong-balung). Bentuk ketiga *impeller* tersebut dapat

dilihat pada **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7**, serta **Gambar 2.8**.



Gambar 2.6 Tipe *Paddle*

(Sumber : Qasim, S. R, 1985)



Gambar 2.7 Tipe *Turbine*

(a) *turbine blade* lurus (b) *turbine blade* piringan (c) *turbine blade* menyerong

(Sumber : Qasim, S. R, 1985)

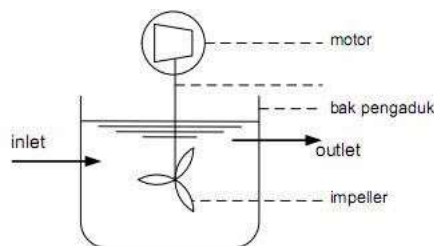


(a) *propeller 2 blade* (b) *propeller 3 blade*

Gambar 2.8 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 2.9 Pengadukan Cepat dengan Alat Pengaduk

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

Tabel 2.5 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

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

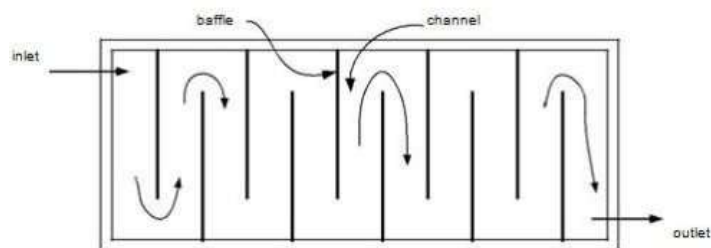
(Sumber : Tom D. Reynolds, Paul A. Richards, 1996)

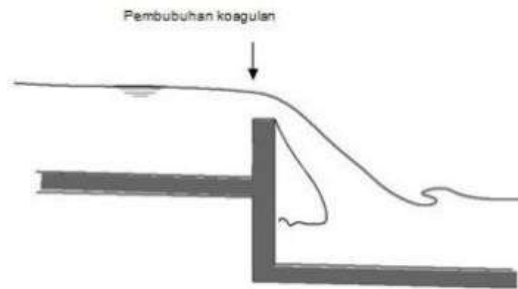
- **Pengadukan Hidrolis**

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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan **Gambar 2.10**, 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 (*baffled channel* pada **Gambar 2.11**, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).





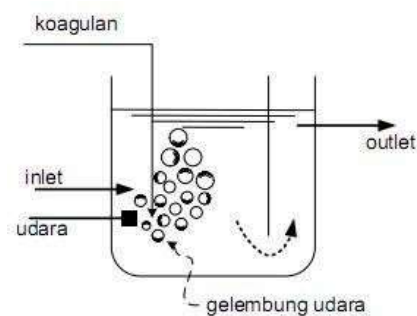
Gambar 2.11 *Baffle Channel*

Gambar 2.10 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

(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 2.12 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 2.6**.

Tabel 2.6 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	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3 H_2O$	599,77	Putih Terang Padat	1000 - 1096	1,25- 1,36	Sekitar 872	Al : 9,0 – 9,3	-	Sekitar 3,5
	Alum Cair	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 49,6 H_2O$	1235,71	Putih / terang abu kekuningan Cair	-	1,30- 1,34	Sangat Larut	Al : 4,0 – 4,5	71,2 – 74,5	
Ferri Klorida	Besi (III) Klorida Besi Tri klorida	$FeCl_3$	162,21	Hijau – Hitam Bubuk	721 - 962	-	Sekitar 719	Fe : Kira kira 34	-	
	Ferri Klorin Cair	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ $FeCl_3 \cdot 13,1 H_2O$	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	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	562,02	Coklat – Kemerahan Cair	1122 - 1154	-	-	Fe : 17,9 - 18,7	56,5 - 64,0	
	Ferri Sulfat Cair	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 36,9H_2O$	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>	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	278,02	Hijau Bongkahan Kristal	1010 - 1058	-	-	Fe : Sekitar 20	-	

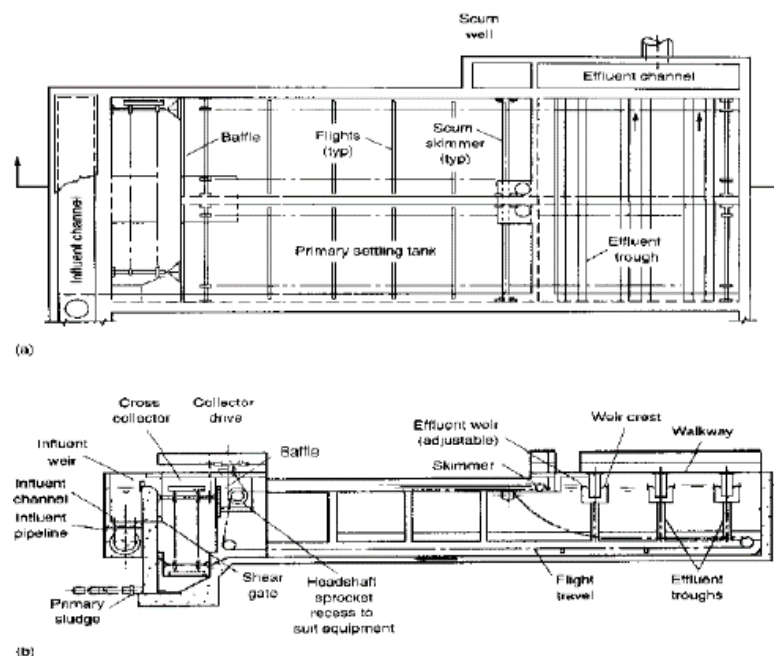
(Sumber : Qasim, S. R,1985)

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 column 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 menyisahkan 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 2.13 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 2.7 Desain Tangki Sedimentasi I

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
<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	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
<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 2.8 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 mikroorganismenya 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%.

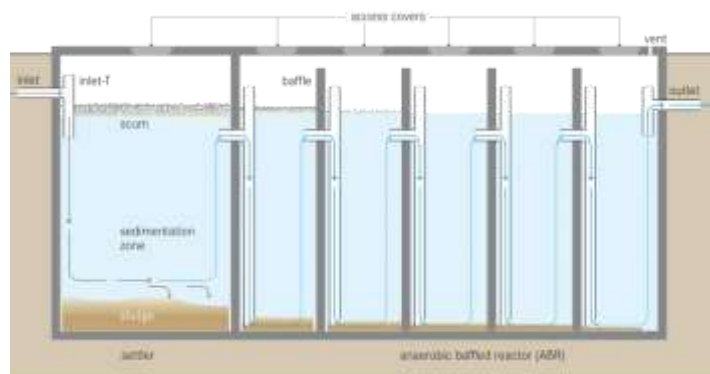
2.2.3.1 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan suspended growth yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran upflow dan downflow) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganismenya. ABR menggabungkan proses

sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganisme dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya (Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017).

Ruang upflow memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada septic tank konvensional. Pada unit ini, aliran masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m³ per hari. Parameter desain meliputi waktu retensi hidraulik (HRT) antara 48 hingga 72 jam, kecepatan aliran ke atas air limbah di bawah 0,6 m/jam dan jumlah ruang aliran ke atas (3 hingga 6). Sambungan antara ruang dapat dirancang baik dengan pipa vertikal atau baffle. Biasanya, biogas yang dihasilkan dalam ABR melalui pengolahan anaerobik tidak dikumpulkan karena jumlahnya tidak mencukupi. Tangki harus berventilasi untuk memungkinkan pelepasan dari bau dan gas secara terkontrol yang berpotensi bahaya. Teknologi ini cocok untuk area di mana lahan mungkin terbatas karena tangki paling sering dipasang di bawah tanah dan membutuhkan lahan yang kecil (Tilley et al., 2014).

Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65–90% COD; 70–95% BOD; dan 80–90% TSS. Efisiensi penyisihan bakteri patogen pada unit ini rendah sehingga membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017). Adapun contoh gambar ABR dapat dilihat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

(Sumber : Tilley, et al, 2014)

Adapun kriteria desain unit ABR adalah sebagai berikut.

Tabel 2.9 Kriteria Desain *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*

Parameter	Satuan	Nilai
Debit desain	m ³ /hari	2-200
Waktu retensi hidraulik	Jam	12-96
Kecepatan upflow	m/jam	<0,6
Jumlah kompartemen	Buah	3-6
Efisiensi penyisihan		
BOD	%	70-95
COD	%	65-90
TSS	%	80-90

(Sumber : Tilley, et al, 2014)

Anaerobic baffled reactor terdiri dari zona pengendap dan zona sekat (baffled area). Untuk menghitung dimensi zona pengendapan, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$V \text{ zona pengendapan} = Q \times \text{HRT}$$

$$H \text{ zona pengendap} = \frac{V}{A}$$

$$\text{Surface loading} = \frac{q}{A}$$

Keterangan :

Q = debit influen (m³/jam)

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V = volume (m³)

A = luas permukaan (m²)

Surface loading = beban permukaan (m³/m²/hari)

Adapun untuk menghitung zona sekat dalam *anaerobic baffled reactor* dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$V \text{ ABR} = Q \times \text{HRT}$$

$$\text{Luas Permukaan(A surface) upflow} = \frac{Q}{V_{\text{up}}}$$

Panjang kompartemen <i>downflow</i> (<i>L down</i>)	= $\frac{\text{Luas permukaan } downflow}{\text{Lebar kompartemen } downflow}$
Total volume kompartemen	= Volume kompartemen <i>upflow</i> + volume kompartemen <i>downflow</i>
Jumlah kompartemen	= $\frac{\text{Volume ABR}}{\text{Volume total kompartemen}}$
Total volume aktif <i>baffled area</i>	= (Panjang kompartemen <i>upflow</i> + <i>downflow</i>) x lebar kompartemen x kedalaman efektif x jumlah kompartemen
OLR COD	= $\frac{\text{Organic Load}}{\text{Total volume aktif } baffled \text{ area}}$
Keterangan:	
Q	= debit influen (m ³ /jam)
HRT	= waktu retensi hidraulik (jam)
V up	= kecepatan <i>upflow</i> (m ³)
A	= luas permukaan (m ²)
Surface loading	= beban permukaan (m ³ /m ² /hari)
OLD COD kg COD / m ³ . hari)	= <i>Organic loading rate</i> COD (0,1 - 8)
<i>Organic load</i>	= beban organik (kg/hari)

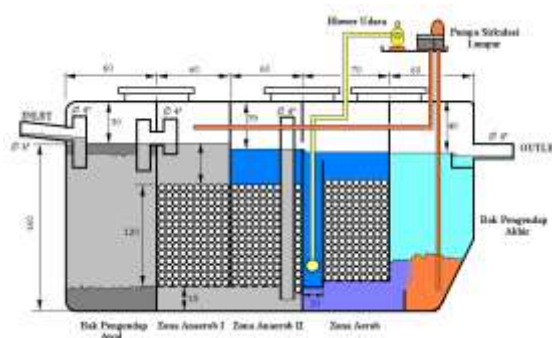
2.2.3.2 Aerobic Biofilter (ABF)

Biofilter Aerob adalah unit pengolahan air limbah dengan prinsip biofilm atau biofilter terendam yang dialirkan air limbah ke dalam reactor biologis yang telah terisi dengan media untuk perkembangbiakan bakteri dengan penambahan oksigen melalui aerasi. Terdapat beberapa cara untuk meninjeksikan oksigen antara lain aerasi samping, aerasi tengah, aerasi merata, aerasi eksternal, aerasi dengan air lift pump, dan aerasi dengan cara mekanik. Sistem aerasi atau injeksi oksigen bergantung pada jenis media yang dipakai dan efisiensi yang akan di capai (Said, 2017).

Beban Pencemar biofilter aerob lebih rendah sehingga ditempatkan setelah proses anaerob terjadi. Effluen pengolahan anaerobik masih mengandung zat organik dan nutrisi dikonversi menjadi sel bakteri baru, hydrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen. Parameter polutan yang

ada pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, dan fosfor akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Parameter polutan tersebut didegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut. Sehingga energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Di dalam reaktor biofilter diisi dengan media plastik tipe sarang tawon pemberian aerasi dengan menghembuskan udara melalui diffuser untuk membantu mikroorganisme mengurai zat organik. Mikroorganisme akan tumbuh dan menempel pada media, mikroorganisme yang tumbuh dapat secara tersuspensi maupun melekat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik, deterjen serta proses nitrifikasi dan penyisihan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini merupakan aerasi kontak (Said, 2017).



Gambar 2.15 Skema Kerja Biofilter Aerobik dalam Tangki

(Sumber : Nusa Idaman Said, 2017)

Menurut Said (2017), terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain :

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik filter harus kuat, keras, dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan lain sebagainya.
2. Diameter media, biasanya diameter media aerobik biofilter antara 2,5-2,0. Sebaiknya dihindari oenggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan terjadi penyumbatan. Makin luas

permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.

3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka semakin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme, khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik maka diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman bagi mikroorganisme.
5. Suhu, suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu, suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Media filter seperti kerikil, batu, atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraian. Sebuah media filter yang baik memiliki 90-300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian Said (2017), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1.	<i>Trickling filter</i> dengan batu pecah	100-200
2.	Modul <i>Honeycomb</i> (sarang tawon)	150-240
3.	Tipe jaring	50
4.	RBC	80-150
5.	Bio-Ball (random)	200-240

(Sumber : Nusa Idaman Said, 2017 Hal. 292)

Media yang diisi pada ruang bed media memiliki kriteria tersendiri. Beberapa kriteria tersebut antara lain adalah mempunyai luas permukaan spesifik besar, tahan terhadap penyumbatan, dibuat dari bahan inert, harga per unit luas pemukaannya murah, ringan, fleksibel, pemeliharaan mudah dan kebutuhan energi kecil. Tujuan dari pemilihan media ini adalah untuk memperoleh luas permukaan yang luas dan murah, biaya konstruksi reactor rendah dan tidak adanya penyumbatan (Said, 2017).

Menurut Said (2017), kriteria desain untuk media biofilter aerob adalah sebagai berikut :

a. Biofilter Aerob

- Waktu tinggal (Td) = 6-8 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Beban BOD/Volume media = 0,5-4,0 kg BOD/m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5-30 g/m².hari
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Efisiensi penyisihan BOD = 90-95 %

(Sumber : Said, 2017 Hal. 302-309)

b. Media Biofilter Aerob

- Tipe Media = sarang tawon
- Meterial = PVC sheet
- Ketebalan = 0,15-0,23 mm
- Luas kontak spesifik = 150-226 m²/m³
- Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
- Berat spesifik = 30-35 kg/m³
- Porositas rongga = 0,98

(Sumber : Said, 2017 Hal. 302-309)

c. Blower Udara

- Densitas udara = 1,2 kg/m³
- Berat aliran udara (w) = 85 -1700 m³/menit
- Tekanan absolut outlet (P2) = 25 lb/in² = 1,7 atm

- Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
- Konstanta udara = 8,314 kJ/mol.K
- K = 1,395
- N = $\frac{(k-1)}{k} = \frac{(1,395-1)}{1,395} = 0,28$
- Efisiensi = 70-90 %

Berikut merupakan tahapan dan rumus – rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis :

- Beban BOD di dalam air limbah
Beban BOD = Debit Limbah (Q) x BOD inlet

- Volume media yang diperlukan
$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

- Volume reaktor yang diperlukan
$$V_{\text{reaktor}} = (100/40) \times V_{\text{media}}$$
- Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)

$$T_d = \frac{V_{\text{reaktor}}}{\text{Debit air limbah}} \times 24 \text{ jam}$$

- Dimensi reaktor
$$V_{\text{reaktor}} = p \times l \times t$$

Keterangan

p = panjang

l = lebar

t = tinggi

- Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$\text{Volume media} = p \times l \times t$$

- Total volume efektif biofilter aerobik

$$V_{\text{total}} = p \times l \times t$$

- BOD loading per volume media

$$\text{BOD}_{\text{Loading}} = \frac{V_{\text{total}}}{V_{\text{media}}}$$

- BOD loading

$$\text{BOD}_{\text{Loading}} = \frac{\text{BOD Loading per volume media}}{\text{Luas Spesifik Media}}$$

- Produksi Sludge

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering x densitas lumpur}}$$

- Kebutuhan udara untuk menghilangkan BOD

$$\text{BOD effluent} = \text{BOD inlet} \times \% \text{ removal}$$

$$\text{BOD removal} = \text{BOD inlet} - \text{BOD effluent}$$

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit (Q)} \times \text{BOD removal}$$

$$\text{Kebutuhan oksigen sebenarnya} = \text{Beban BOD} \times \text{Faktor keamanan}$$

$$\text{Faktor keamanan} = \pm 2$$

$$\text{Laju transfer oksigen spesifik} = \frac{\text{Kebutuhan oksigen sebenarnya}}{0,7}$$

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{\text{Laju transfer oksigen spesifik}}{23,2\%}$$

$$\text{Kebutuhan udara total} = \frac{\text{Kebutuhan udara}}{0,8}$$

- Blower udara

$$\text{Daya blower (Pw)}$$

$$P_w = \left[\frac{w \times R \times T_1}{550 \times n \times e} \right] \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

2.2.4 Pengolahan Tersier (Tertiary Treatment)

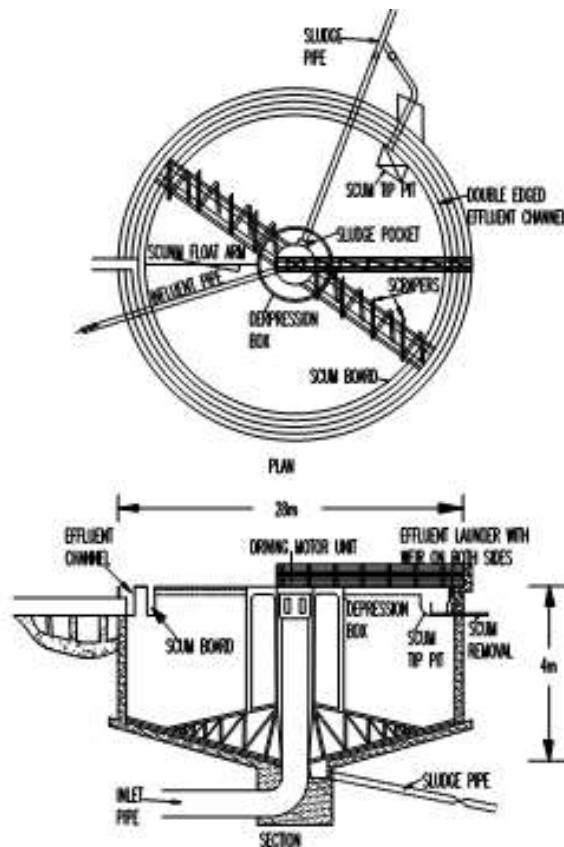
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat 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

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).



Gambar 2.16 Denah dan Potongan Clarifier

(Sumber : Chukwulozie et al, 2018)

2.2.4.2 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.

2.2.4.3 Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolahan 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, diantaranya :

- *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).

2.2.4.4 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 *scrapper* 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 diatasnya
- Pendistribusian merata

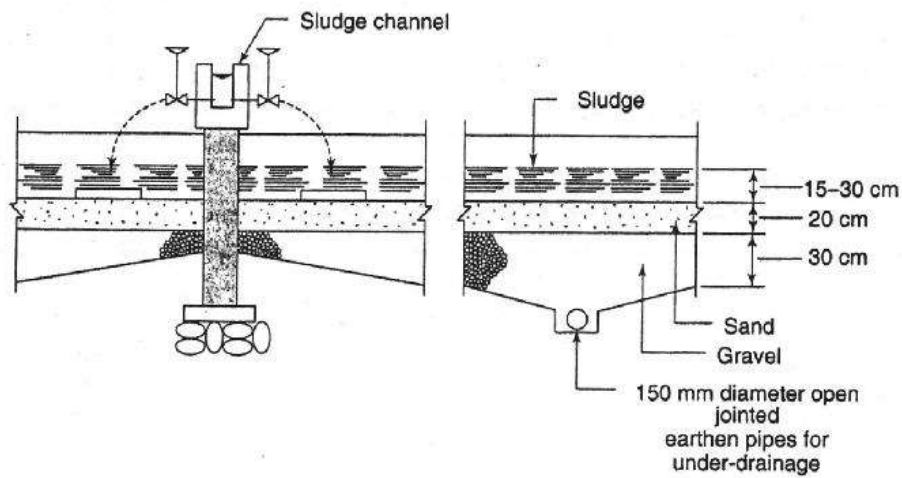
Pada bagian dasar terdiri dari sistem perpipaan yang tersusun dari lateral dan manifold, dimana air diterima melalui lubang orifice yang diletakkan pada pipa lateral. Manifold dan lateral ditunjukkan agar distribusi merata, headloss 1-3 m dengan kriteria sistem manifold – lateral :

- 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



Gambar 2.17 Manifold

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



Gambar 2.18 Skema *Sludge Drying Bed*

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

2.3 Persen Removal

Adapun persen removal pada masing-masing unit pengolahan limbah industri kertas halus dari berbagai sumber dapat dilihat pada **Tabel 2.11** berikut.

Tabel 2.11 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Bar Screen	Partikel Kasar	Menyaring partikel kasar (ranting, padatan, kain, dan lainnya)	Droste, R. L. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment.
Bak Equalisasi	-	Mengontrol fluktuasi air limbah agar optimal	Droste, R. L. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment.

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Koagulasi dan flokulasi	Pb	82%	Samosir. 2017. Studi Optimasi Dosis Poly Aluminium Chloride (Pac) Yang Digunakan untuk Menurunkan Kandungan Logam Timbal (Pb), Dan Krom (Cr) Di Dalam Limbah Cair
Bak Pengendap I (sedimentasi)	TSS	50 – 70 %	Metcalf & Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> . Hal 497
Anaerobic Baffled Reactor	TSS	80 – 90 %	Dirjen Cipta Karya. (2017). <i>Pedoman Perencanaan Teknik Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja</i> . Hal 74
	BOD	70 -95 %	
	COD	65 – 90 %	
Aerobic Filter	BOD	90 – 95 %	Said, N.I. 2017. <i>Teknologi Pengolahan Air Limbah</i> . Hal 305.
	TSS	80 – 90 %	Pamungkas, E. 2015. <i>Studi Kinerja Biofilter Aerob Untuk Mengolah Air Limbah Laundry</i> .
	COD	92,22 %	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Clarifier	TSS	50 – 70 %	Huisman. 2004. <i>Sedimentation and Flotation</i> . Hal 12
Sludge Drying Bed	Penyisihan Lumpur COD BOD TSS	99,88% 97,30% 98,27%	Faizatul, M. (2018). Pengerinan Lumpur IPAL Biologis Pada Unit Sludge Drying Bed. <i>Jurnal Purifikasi</i> , 18(1), 145.

(Sumber : Penulis, 2023)

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut.

2.4.1 Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

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

- Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
- Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .
- Kehilangan tekanan pada pompa

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

- Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram.

2.4.2 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 :

- Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.
- 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.

2.4.3 Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.12 Jenis - Jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	- Air limbah sebelum diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan <i>effluent</i>
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir lumpur, limbah kasar

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, permasalahan zat-zat kimia, pengaliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite</i>	<i>Screw</i>	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua, air limbah pertama
	Diafragma	Permasalahan zat kimia, limbah logam
	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua
	<i>Pneumatic</i>	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

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