

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Untuk mengetahui jumlah serta beban polutan yang ada di dalam air limbah industri dapat dilakukan dengan cara pengujian langsung atau dapat juga diperkirakan berdasarkan pada jenis industri yang sejenis. Setiap industri memiliki karakteristiknya masing-masing.

Beberapa parameter limbah cair industri kayu lapis seperti BOD, COD, TSS, Amonia, dan Fenol menunjukkan jika karakteristik melebihi baku mutu air limbah industri kayu lapis pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013. Konsentrasi beberapa parameter menunjukkan karakteristik limbah domestik dapat dilihat pada tabel 2.1 serta baku mutu karakteristik limbah industri kayu lapis dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Kayu Lapis

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1	BOD	mg/L	885
2	COD	mg/L	980
3	TSS	mg/L	385
4	Fenol Total	mg/L	12
5	Amonia Total	mg/L	25

Sumber : Data Perencanaan

Tabel 2.2 Baku Mutu Karakteristik Air Limbah Industri Kayu Lapis

Parameter	Satuan	Konsentrasi
pH	-	4-6
BOD	mg/L	885
COD	mg/L	980
TSS	mg/L	385
Fenol Total	mg/L	12
Amonia Total	mg/L	25

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013

2.1.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD5 adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28° C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 2005:6). Kandungan BOD pada air limbah Industri Kayu Lapis ini adalah 500 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang di perbolehkan di buang ke lingkungan adalah sebesar 75 mg/L (Peraturan Gubernur Jatim No.72 Tahun 2013).

2.1.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat) (Qasim, 1985:39). Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang

dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan pada uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidasi yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Sperling, 2007:40). Kandungan COD air buangan kawasan industri ini adalah 1200 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 125 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013).

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari *Total Solids* yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman fiber glass* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm. (Metcalf & Eddy, 2004). *Total Suspended Solid* (TSS) pada air buangan kawasan industri ini adalah 200 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013).

2.1.4 Amoniak (NH₃)

Amonia adalah senyawa kimia yang bersifat basa dan memiliki kandungan unsur Nitrogen yang dapat memicu pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Sumber amonia adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik. 7 Kandungan amonia air buangan kawasan industri ini adalah 25 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 4 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013)

2.1.5 Fenol

Phenol juga merupakan bahan organik yang mempunyai sifat larut dalam air. Bahan ini dalam air dapat menyebabkan iritasi yang kuat, racun terhadap kulit dan dapat menyebabkan gangguan terhadap tenggorokan. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri menurut Peraturan Menteri

Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 adalah 0,25 mg/l, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis. Sedangkan toleransi maksimum untuk air limbah adalah 2 mg/l. (Metcalf & Eddy, 2004)

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Pengolahan limbah cair yang dihasilkan oleh suatu proses industri untuk menurunkan kadar polutan yang ada cpada limbah sehingga aman bagi lingkungan (Asmadi & Suharno, 2012). Proses utama dalam pengolahan limbah cair terdiri atas pengolahan tahap pertama, tahap kedua dan tahap ketiga atau lanjutan. Berikut ini adalah beberapa macam pengolahan air buangan, yaitu:

2.2.1 Pengolahan Pendahulu (*Pre Treatment*)

Proses pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung, kotoran bekas pencucian dan kotoran lain yang beukuran besar, sedang atau kecil yang terbawa limbah agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Selain itu, pre- treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya.

Berdasarkan proses pengolahan, maka pengolahan air buangan di bedakan menjadi tiga, dan untuk unit pengolahan pre- treatment limbah domestik kompleks perkantoran sendiri, antara lain

A. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan 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). Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol.

Atau apabila terjadi jika ada ukuran screen lebih besar dari saluran, maka peletakkan screen dipasang di bak kontrol.

➤ **Kriteria Perencanaan**

Kecepatan aliran (v) = 0,2 – 0,8 m/s

Koefisien manning (n) = 0,013

Freeboard (Fb) = 5 % – 30% H

Slope (S) = $S < 0,001$

Dimensi Saluran = $W = 2H$

➤ **Rumus yang digunakan**

1. Luas Permukaan (A)

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

Dengan :

A= Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q= Debit Limbah (m³/detik)

v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)

2. Kedalaman Saluran (H)

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

Dengan :

H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

B = Lebar Saluran Pembawa (m)

3. Ketinggian Total

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

Dengan :

H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)

Freeboard = 20%

4. Cek Kecepatan

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

Dengan :

Q = Debit Limbah (m/detik)

v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

5. Jari – Jari Hidrolis

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

Dengan :

R = Jari – jari Hidrolis (m)

H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)

B = Lebar Saluran Pembawa (m)

6. Kemiringan (*Slope*)

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

Dengan :

s = Kemiringan Saluran / Slope (m/m)

n = Koefisien Manning Bahan Penyusun Saluran Pembawa

v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)

R = Jari – jari Hidrolis (m)

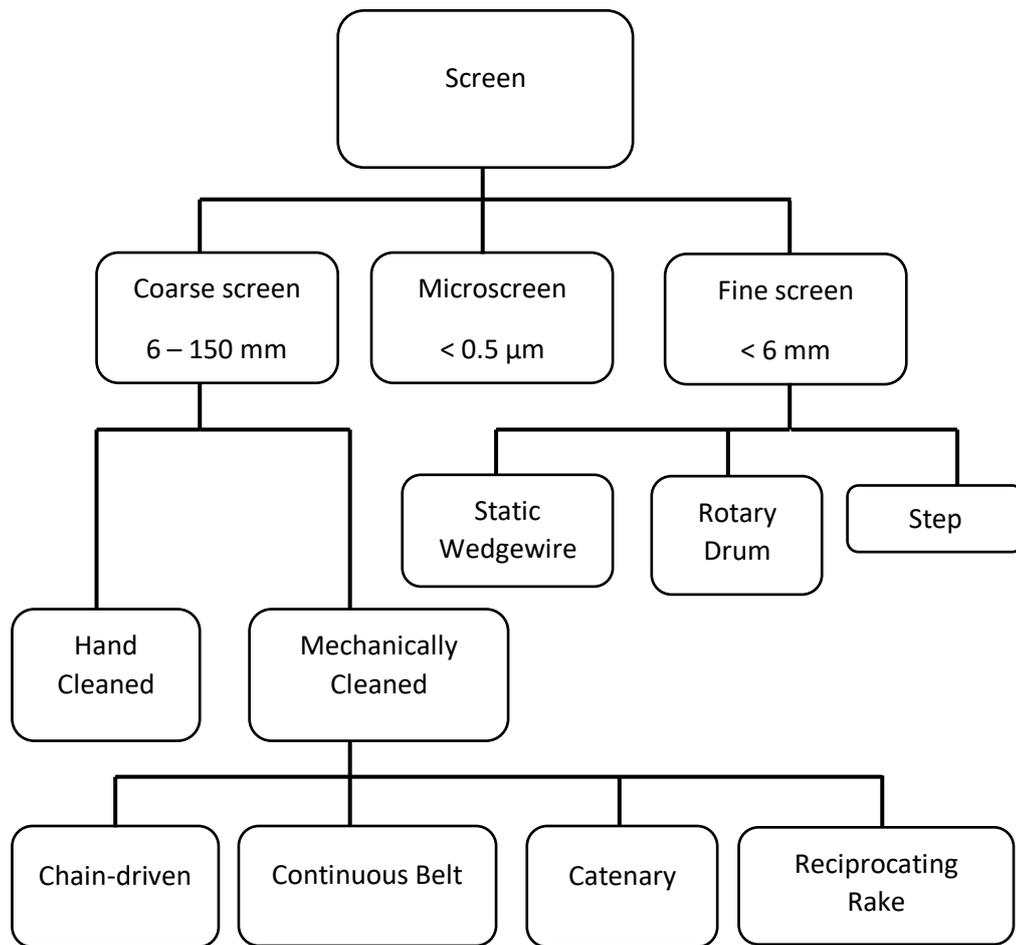
B. Screen

Screen merupakan sebuah alat berongga yang 8 memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada *influent* air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada 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*, di antaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6 - 150 mm (0,25 - 6 inchi). Sedangkan *fine screen* 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*.

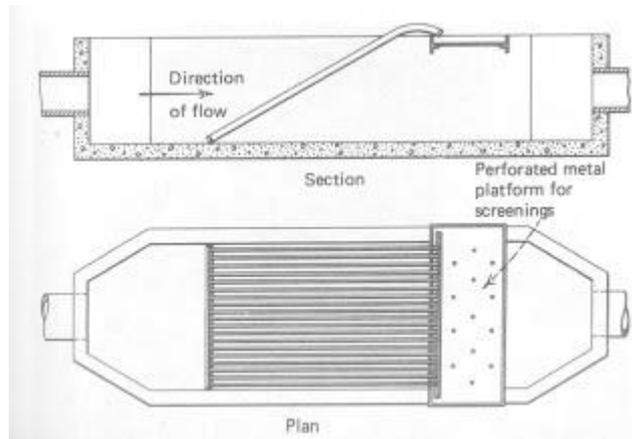
Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi.



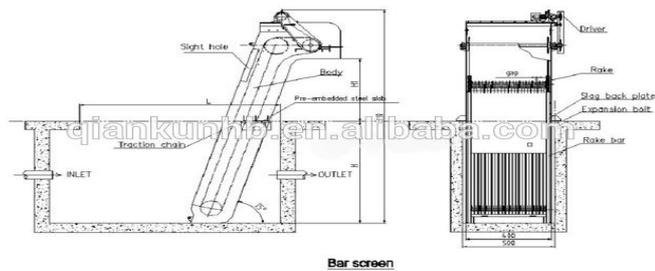
Gambar 2.1 Jenis Screen (Metcalf & Eddy, 2003. Halaman 315)

1. *Coarse Screen* (Penyaring Kasar)

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



Gambar 2.2 *Coarse screen* pembersihan manual



Gambar 2.3 *Coarse screen* pembersihan mekanik

Terdapat kriteria perencanaan untuk desain *coarse screen* pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

Parameter	U.S Customary Units			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 - 50	15 – 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 - 45	0 - 30	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimum	ft/s	1,0 – 2,0	2,0 – 3,25	m/s	0,3 – 0,6	0,6 – 1,0
Minimum	ft/s		1,0 – 1,6	m/s		

Headloss	In	6	6 – 2,4	Mm m	150	150 – 600
----------	----	---	---------	---------	-----	-----------

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

2. *Fine Screen* (Penyaring Halus)

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. *Screen* ini dapat digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/*primary clarifier*) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt. *Screen* tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.4 *Fine Screen Static Wedgewire* (a), *Rotary Drum* (b), dan *Step Type* (c)

Tabel 2.4 Kriteria Perencanaan *Fine Screen*

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 stainless steel Pengolahan Primer	
Drum (berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel Pengolahan Pendahuluan	
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel Pengolahan Primer	

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	mm		
				stainless steel	
	Halus		$6 \times 10^{-3} - 35 \times 10^{-3}$	Stainless steel dan kain polyester	Menyisihkan residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 – 0,17	1,6 – 4	Batangan stainless steel	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangential	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari stainless steel	Gabungan dengan saluran air hujan

Sumber : *Metcalf & Eddy 2003*

Adapun kemampuan penyisihan dari *Fine Screen* seperti berikut :

Tabel 2.5 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 & 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 pengolah 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. (Metcalf & Eddy, 2003)

3. *Microscreen*

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 µm. Prinsip dari microscreens ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Adapun faktor bentuk screen antara lain :

Tabel 2.6 Faktor Bentuk Screen

Jenis Bar	Faktor Bentuk 6FUHHQ	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*

➤ Kriteria Perencanaan

1. Jarak antar kisi (r) = 25 – 50 mm
2. Kemiringan / slope kisi (θ) = 30 q – 45 q
3. Kecepatan melalui bar (v) = 0,3 - 0,6 m/dtk
4. Ukuran kisi untuk screen

- Lebar (d) = 5 – 15 mm (bulat)
 - 5. Headloss maksimum bar screen (Hf) = 0,15 m
 - 6. Headloss maksimum saat clogging (Hfc) = 0,8 m
- (Metcalf & Eddy, 2003)

➤ Rumus yang digunakan

1. Dimensi batang Screen

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

Dengan :

θ = Kemiringan screen pada saluran pembawa (°)

h = Ketinggian air dalam saluran (m)

x = Panjang screen (m)

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

Dengan :

θ = Kemiringan screen pada saluran pembawa (°)

w = Tebal screen (m)

x = Panjang screen (m)

2. Jumlah batang (n)

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

Dengan :

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah batang screen

d = Diameter screen (m)

r = Jarak antar batang screen (m)

3. Lebar bukaan kisi (W_c)

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

Dengan :

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah batang screen

d = Diameter screen (m)

4. Kecepatan saat melalui kisi (v_i)

$$v_i = \frac{Q}{W_c \times h_{air}}$$

Dengan :

v_i = Kecepatan saat melalui kisi (m/s)

Q = Debit Limbah (m³/s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h_{air} = Tinggi permukaan air dalam saluran (m)

5. Hilang tekan / Headloss pada kisi (H_f)

$$1/c \times \left(\frac{V_i^2 - V_{saluran pembawa}^2}{2 \times g} \right)$$

Dengan :

v_i = Kecepatan saat melalui kisi (m/s)

v_c = Kecepatan saat terjadi proses pembersihan (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

c = koefisien

C. Bak Penampung

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



Gambar 2. 5 Bak penampung

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, ketika air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

1. Volume bak penampung

$$V = Q \times t_d$$

Dengan :

V = Volume Bak Penampung (m³)

Q = Debit Limbah (m³/s)

t_d = Waktu Detensi (s)

2. Ketinggian total bak penampung

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

Dengan :

H_{total} = Kedalaman total bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

F_b = 10% - 30% H

2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

A. Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi koloid dengan penambahan senyawa kimia yang disebut zat koagulan. Flokulasi adalah proses penggumpalan (agglomeration) dari koloid yang tidak stabil menjadi gumpalan partikel halus (mikroflok), dan selanjutnya menjadi gumpalan partikel yang lebih besar dan dapat mengendap dengan cepat.

Di dalam sistem pengolahan air limbah dengan penambahan senyawa kimia pada proses koagulasi sangat diperlukan untuk proses awal. Partikel sangat halus maupun partikel koloid yang terdapat dalam air limbah yang sukar mengendap. Maka dari itu diperlukannya bahan kimia dalam proses koagulasi, agar partikel yang sukar mengendap tadi menggumpal menjadi besar dan berat sehingga kecepatan pengendapannya lebih cepat. Bahan koagulan atau kimia yang sering digunakan yaitu :

1. *Aluminium sulfat* (alum), $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O})$

Alum merupakan bahan koagulan yang sering dipakai untuk pengolahan air, karena harganya yang ekonomis, flok yang dihasilkan stabil serta cara pengerjaannya pun mudah. Aluminium sulfat atau alum, diproduksi dalam bentuk padatan atau dalam bentuk cair. Optimum pH pada alum yaitu 5,5-8,5.

2. *Ferrous sulfate*

Ferrous sulfate diproduksi dalam bentuk kristal berwarna hijau atau butiran. Ferrous sulfate biasanya digunakan bersama-sama dengan kapur untuk menaikkan pH, sehingga ion ferro terendapkan dalam bentuk ferri hidroksida $(\text{Fe}(\text{OH})_3)$. Ferrous sulfat kurang sesuai untuk menghilangkan warna, tetapi baik untuk pengolahan air yang memiliki alkalinitas, kekeruhan, dan DO yang tinggi. kondisi pH yang sesuai yaitu 9,0-11,0.

3. Ferri klorida

Ferri klorida dan ferri sulfat adalah bahan koagulan dengan nama dagang yang bermacam-macam. Keuntungan menggunakan koagula garam ferric yaitu proses koagulasi dapat dilakukan dengan selang pH yang lebih besar, biasanya antara pH 4-9. Flok yang dihasilkan lebih berat sehingga cepat mengendap, secara efektif dapat menghilangkan warna, bau, dan rasa (Said, 2017).

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

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

1. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700-1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynold, 1996).

2. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 15-30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynold, 1996).

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

1. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). *Paddle impeller* *Paddle impeller* biasanya memiliki dua atau empat *blades*. *Blades* dapat berbentuk *pitch* atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter *paddle impeller* biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar *paddle* biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak *paddle* yaitu 50% dari diameter diatas dasar tangki. Kecepatan *paddle* berkisar antara 20-150 rpm. *Paddle impeller* tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynold, 1996).

- *Propeller impeller*

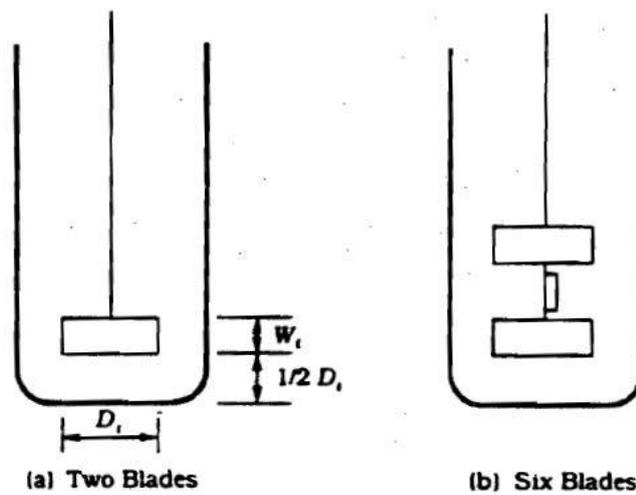
Propeller impeller memiliki dua atau tiga *blades*. *Pitch* didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya *pitch* adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter *propeller* maksimum 18 inci. Kecepatan *propeller* biasanya 400-1750 rpm. Agitator *propeller* sangat efektif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

Power yang dihasilkan dari berbagai *impeller* dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta *impeller*, K_T dan K_L .

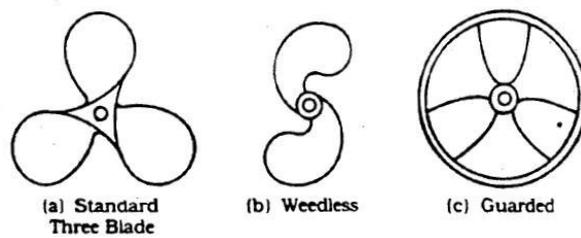
Tabel 2.7 Konstanta K_T dan K_L

Jenis <i>impeller</i>	K_T	K_L
<i>Propeller</i> , <i>pitch</i> of 1, 3 <i>blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller</i> , <i>pitch</i> of 2, 3 <i>blades</i>	43,5	1,00
<i>Turbine</i> , 4 flat <i>blades</i> , <i>vaned disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine</i> , 6 flat <i>blades</i> , <i>vaned disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine</i> , 6 curved <i>blades</i>	70,0	4,80
Fan <i>turbine</i> , 6 <i>blades</i> at 45o	70,0	1,65
<i>Shroude turbine</i> , 6 curved <i>blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine</i> , <i>eith stator</i> , <i>no baffles</i>	172,5	1,12
Flat <i>paddles</i> , 2 <i>blades</i> (<i>singgle padle</i>), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flats <i>paddles</i> , 2 <i>blades</i> , $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flats <i>paddles</i> , 2 <i>blades</i> , $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flats <i>paddles</i> , 4 <i>blades</i> , $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flats <i>paddles</i> , 6 <i>blades</i> , $D_i/W_i = 8$	71,0	3,82

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

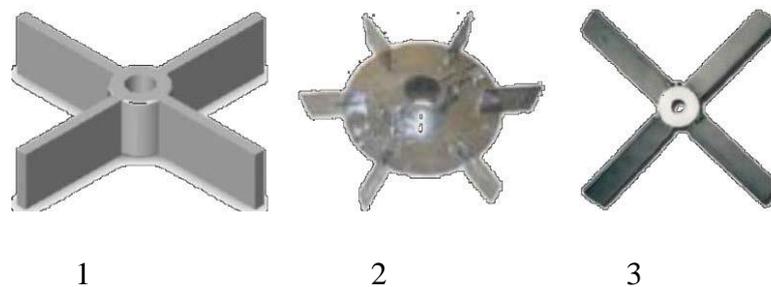


Gambar 2.6 Tipe Paddle Impeler



Gambar 2.7 Tipe Propeller Impeler

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



Gambar 2.8 Tipe Turbin (1) Turbine Blade Lurus, (2) Turbine Blade dengan Piringan, (3) Turbine dengan Blade Menyerong

(Sumber : Qasim, Syed R. 1996. Wastewater Treatment Plant: Planning, Design, and Operation)

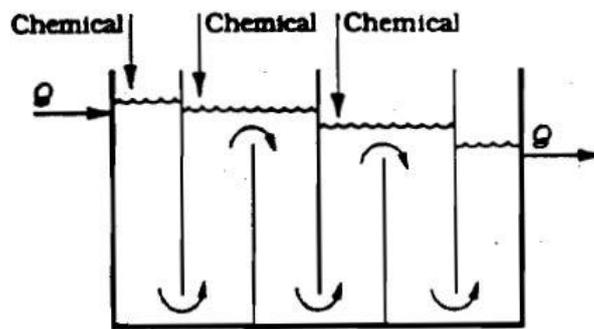
Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan td . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.

2. Pengadukan Hidrolis

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

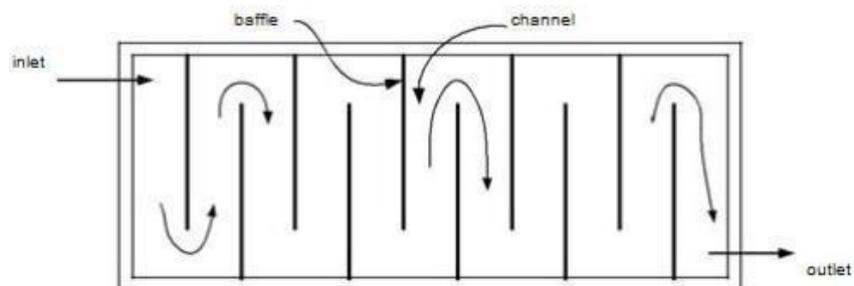
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran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

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



Gambar 2.9 *Baffle Basin Rappid Mixing*

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



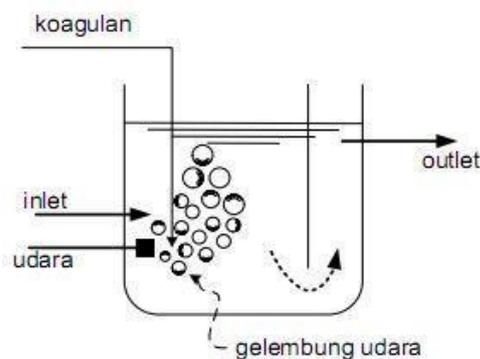
Gambar 2.10 *Baffle Channel Slow Mixing*

(Sumber : Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016. *Operasi & Proses Pengolahan Air Edisi Kedua*)

3. 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. 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 2.11 Pengadukan Cepat Pneumatis

(Sumber : Masduqi, Ali dan Abdu F. Assomadi. 2016. Operasi & Proses Pengolahan Air Edisi Kedua)

Rumus :

- Power (P)

$$P = Kt \times n^3 \times Di^5 \times \rho$$

- Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 188. Boston: PWS Publishing Company)

Perhitungan

Tangki Koagulan

- Kebutuhan alum

$$(Dosis\ alum \times Q\ air\ limbah) \times td$$

Keterangan :

$Q =$ Debit air limbah

$td =$ Waktu Detensi

- Volume alum cair

$$\frac{Kebutuhan\ alum}{\rho\ alum}$$

Keterangan :

$\rho =$ Massa Jenis Alum

- Suplay tenaga (P)

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

Keterangan :

P = Suply Tenaga

Gradien kecepatan (G) = 20-75/s

Viskositas absolute (μ) di suhu 30° C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = Vol Bak Flokulasi

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{efisiensi\ gearbox}$$

Keterangan

P = Suply Tenaga

P' = Power Drive

- Diameter turbin (Di)

$$Di = 50\% \times diameter\ bak$$

Keterangan :

Di = Diameter Turbin

- Jarak turbin dengan dasar bak

$$Jarak\ turbin = 50\% \times diameter\ turbin$$

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{P'}{\rho \text{ air} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P' = Power drive

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan :

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

Tangki Koagulasi

- Volume bak koagulasi

$$V = Q \text{ limbah} \times td$$

Keterangan :

V = Vol Bak Flokulasi

Q = Debit Limbah

td = waktu detensi

- Volume total

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

Keterangan :

Vlimbah = Volume Limbah

V koagulan = Volume Bak Koagulan

- Suplay tenaga (P)

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

Keterangan :

P = Suply Tenaga

Gradien kecepatan (G) = 20-75/s

Viskositas absolute (μ) di suhu 30° C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = Vol Bak Flokulasi

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{\text{efisiensi gearbox}}$$

Keterangan

P = Suply Tenaga

P' = Power Drive

- Diameter turbin (Di)

$$Di = 50\% \times \text{diameter bak}$$

Keterangan :

Di = Diameter Turbin

- Jarak turbin dengan dasar bak

$$\text{Jarak turbin} = 50\% \times \text{diameter turbin}$$

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{P'}{\rho \text{ air} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P' = Power drive

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan :

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

Flokulasi

- Volume bak flokulasi

$$V = Q \text{ limbah} \times td$$

Keterangan :

V = Vol Bak Flokulasi

Q = Debit Limbah

td = waktu detensi

- Dimensi Bak

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

Keterangan :

V = Vol Bak Flokulasi

D = Diameter Bak

H = Ketinggian Bak

- Hbangunan = Hair + Hfb

Keterangan :

Hair = Tinggi air

Hfb = Tinggi bangunan

- Suplay tenaga (P)

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

Keterangan :

P = Suply Tenaga

Gradien kecepatan (G) = 20-75/s

Viskositas absolute (μ) di suhu 30° C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = Vol Bak Flokulasi

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{\text{efisiensi gearbox}}$$

Keterangan :

P = Power Drive

- Diameter turbin (Di)

$$Di = 50\% \times \text{diameter bak}$$

- Jarak turbin dengan dasar bak

$$\text{Jarak turbin} = 50\% \times \text{diameter turbin}$$

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{P'}{\rho \text{ air} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P' = Power drive

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan :

ρ = Massa Jenis Air

Di = Diameter Turbin

n = Kecepatan Putaran

B. Bak pengendap 1

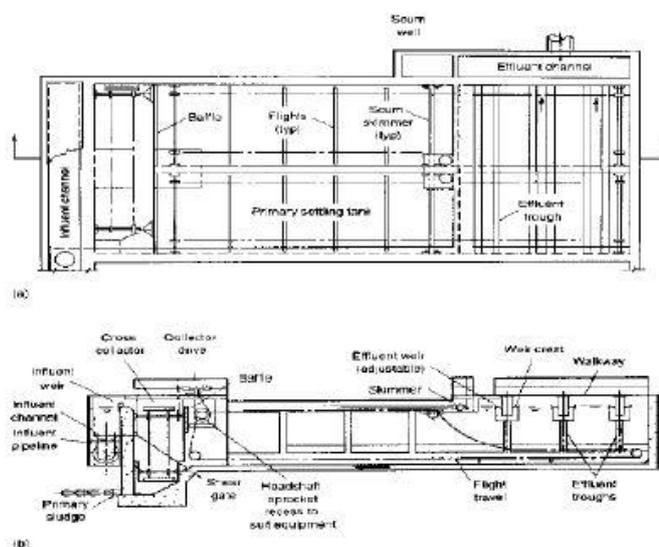
Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisahkan 50-70% dari suspended solid tanpaantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran air
2. Suhu udara pemukiman
3. Suhu air yang mempengaruhi kekentalan zat
4. Suhu terstratifikasi dari ilim
5. Bilangan Eddy

Desain dari bak pengendap 1 sendiri memiliki beberapa jenis, yaitu :

1. Rectangular

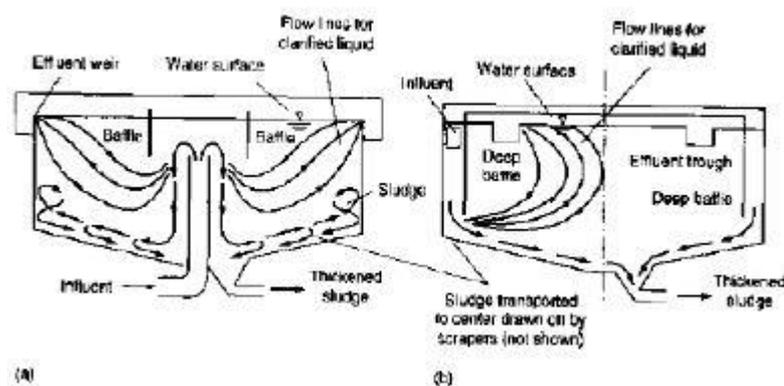


Gambar 2.12 Bak Pengendap Rectangular (a) Denah (b) Potongan

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*)

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

- a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- b. Saluran inlet dengan port dan orifice
- c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*
- d. Circular



Gambar 2.13 Bak Pengendap Circular

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*)

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

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah : *Surface Loading* (Beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2.8 Kriteria Desain Bak Pengendap

Item		U.S customary units		S.I units		
Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical	
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-1,2	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	Gal/ft2s	800-1200	1000	m3/m2s	30-50	40
Puncak	Gal/ft2s	2000-3000	2500	m3/m2s	80-120	100
Item		U.S customary units		S.I units		
Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical	
Weir loading	Gal/ft2s	10000-40000	20000	m3/m2s	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/ft2s	600-800	1000	m3/m2s	24-32	28
Puncak	Gal/ft2s	1200-1700	1500	m3/m2s	48-70	60
Weir loading	Gal/ft2s	10000-40000	20000	m3/m2s	125-500	250

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*)

Tabel 2.9 Kriteria Desain Bak Pengendap Rectangular dan Circular

Item		U.s customary units		S.i unit		
Units	Rentang	Typical	Units	Rentang	Typical	
Persegi panjang						
Kedalaman	Feet	10-16	14	M	3,0-4,9	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
Flight speed	Ft/min	2,0-4,0	3	M/min	0,6-1,2	0,9

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*)

Rumus yang digunakan :

Zona Settling

- 1) Luas Surface Area

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

- 2) Diameter

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

- 3) Diameter inlet wall

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

- 4) Kedalaman inlet wall = 25% x diameter bak

- 5) Kecepatan air di inlet wall

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

- 6) Cek over flow rate = $\frac{Q}{A}$

- 7) Volume

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

- 8) Cek td = $\frac{\text{Volume}}{Q}$

- 9) Kecepatan horizontal di bak

$$v_h = \frac{Q}{\pi \times D \times H}$$

- 10) Diameter partikel

$$d_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times v}{g(sg-1)}}$$

- 11) Nre = $\frac{v_h \times r}{v}$

- 12) Nfr = $\frac{v_h}{\sqrt{g \times r}}$

- 13) Vs = $\sqrt{\frac{8K(sg-1) \times g \times d_p}{f}}$

- Zona Inlet

- 1) A = $\frac{Q}{v}$

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

3) Jari – Jari Hidrolis (R)

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

4) Slope

$$S = \left(\frac{nv}{R^3} \right)^2$$

5) Headloss (Hf)

$$H_f = \text{slope} \times L$$

- Zona Sludge

1) Perhitungan penyisihan TSS

$$\text{TSS teremoval} = \text{TSS influent} \times \% \text{ removal}$$

2) Perhitungan TSS effluent

$$\text{TSS effluent} = \text{TSS inf} - \text{TSS teremoval}$$

3) Berat solid = removal TSS x Q

4) Berat jenis solid = Ss x pair

5) Volume solid = $\frac{\text{berat solid}}{\text{berat jenis solid}}$

6) Berat air = $\frac{95\%}{5\%}$ x berat solid

7) Volume air = $\frac{\text{berat air}}{\text{berat jenis air}}$

8) Volume sludge = volume solid + volume air

9) Berat jenis sludge = Ss x massa jenis air

10) Berat sludge = volume sludge x berat jenis sludge

11) Debit sludge = $\frac{\text{berat sludge}}{\text{densitas sludge}}$

12) Debit effluen bak pengendap = debit air limbah – debit lumpur teremoval

13) Volume ruang lumpur = $\frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + (R \times r))$

14) Luas permukaan pipa penguras

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

15) Dimensi pipa penguras (Dp)

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

Zona Outlet

- 1) Panjang pelimpah (weir)

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

- 2) Jumlah v notch

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

- 3) Debit melalui v notch

$$Q = \frac{Q \text{ bak sedimen}}{n}$$

- 4) Tinggi limpahan melalui v notch

$$Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan\frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

- 5) Luas permukaan saluran pelimpah\

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

- 6) Dimensi saluran pelimpah

$$L = 2H$$

$$A = L \times H$$

- 7) H total = H + (20% x H)

- 8) Luas Permukaan Pipa Outlet

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

- 9) Diameter Pipa Outlet

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

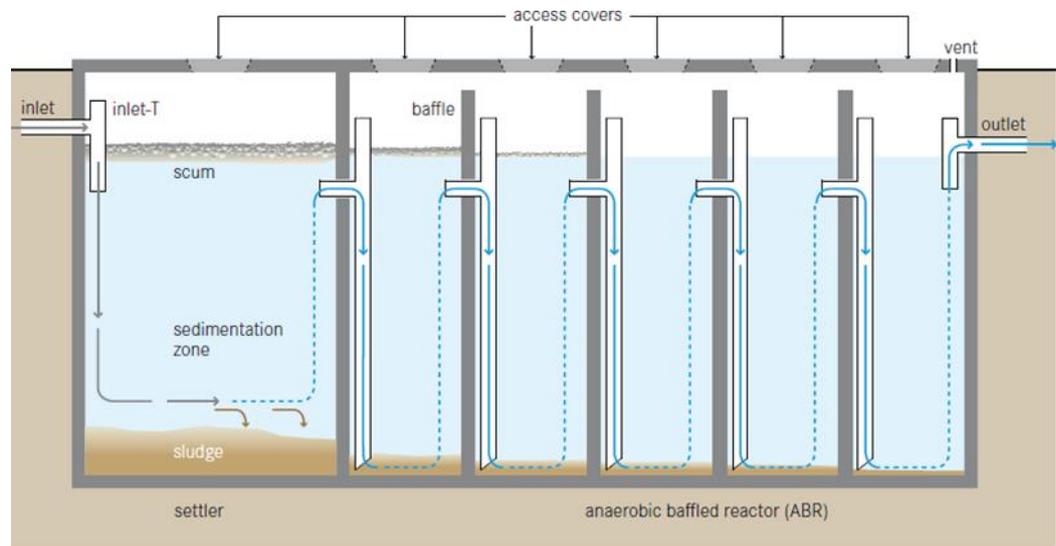
2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan biologis pada umumnya mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalam air limbah. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya.

A. *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.



Gambar 2. 14 Anaerobic Baffle Reactor

ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganismenya dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya. Mikroorganismenya berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65-90% COD; 70-95% BOD; dan 80-90% TSS (Kemen PUPR).

Rumus yang digunakan :

- 1) Luas permukaan satu kompartemen upflow

$$A = \frac{Q}{v_{upflow}}$$

- 2) Cek luas permukaan (A') = L x W

- 3) $L = \frac{\text{luas area downflow}}{\text{lebar tangki}}$

- 4) Total volume aktif baffled area = (panjang kompartemen + panjang area downflow) x lebar kompartemen x kedalaman aktif x jumlah kompartemen

$$5) \text{ OLR} = \frac{Q \text{ air limbah} \times \text{konsentrasi BOD awal}}{\text{vol baffled area}}$$

$$6) \text{ HRT} = \frac{\text{total vol aktif baffled area}}{\text{debit influen}}$$

7) Cek kecepatan upflow

$$V \text{ upflow} = \frac{\text{debit influen}}{\text{luas tiap kompartemen}}$$

8) Panjang settling tank

$$L = \frac{\text{HRT} \times \text{debit influen}}{\text{lebar tangki} \times \text{kedalaman tangki}}$$

9) Volume settling tank

$$V = \text{panjang settling tank} \times \text{lebar ABR} \times \text{kedalaman ABR}$$

10) Volume aktif ABR = Vol tangki pengendapan + Vol area sekat

11) Cek HRT

$$\text{HRT}' = \frac{\text{Volume ABR}}{\text{Debit influen}}$$

$$12) \text{ Luas permukaan pipa outlet (A)} = \frac{Q \text{ pengurasan}}{v}$$

13) Dimensi pipa outlet

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

14) Cek v pipa outlet

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

B. Activated Sludge

Pengolahan *activated sludge* atau lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan mikroba sebagai pengurai. Bakteri dan mikroba

ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas.

Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut:

a. Konvensional

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

b. Non-konvensional

- *Step Aeration*

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

- *Tapered Aeration*

Tapered aeration Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.

- *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat 2 tanki yaitu :

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

- *Pure Oxygen*

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

- *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.

- *Extended Aeration*

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

Rumus yang digunakan :

- Partikulat BOD di Effluent

$$\text{BOD}_{\text{Partikulat}} = (\text{VSS/SS}) \cdot \text{Fb}$$

dengan :

fb = Biodegradable Fraction of VSS

BOD_{Partikulat} = Partikulat BOD di Effluent
(mg BOD/mg SS)

- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

Efisiensi BOD terlarut dalam effluent

$$\%E = \frac{\text{BOD}_{\text{influent}} - \text{BOD}_{\text{Effluent}}}{\text{BOD}_{\text{influent}}} \times 100$$

dengan :

BOD_{influent} = Kadar BOD yang masuk (mg/L)

BOD_{terlarut} = Kadar BOD yang terlarut (mg/L)

BOD_{effluent} = Kadar BOD yang keluar (mg/L)

BOD yang terremoval

$$\text{BOD Removal} = \text{Co} \times \% \text{ Removal}$$

dengan :

Co = BOD influent (mg/l)

% removal = Kemampuan meremoval unit

BOD yang lolos

$$C_r = C_o - \text{BOD}_{\text{teremoval}}$$

dengan :

$$C_o = \text{BOD}_{\text{Influent}} \text{ (mg/l)}$$

$$C_r = \text{BOD}_{\text{effluent}} \text{ (mg/l)}$$

- Debit Resirkulasi (Q_r)

$$Q_r = Q_o \times R$$

dengan :

$$Q_r = \text{Debit resirkulasi (m}^3/\text{s)}$$

$$R = \text{Ratio resirkulasi}$$

$$Q_o = \text{Debit per unit (m}^3/\text{s)}$$

- Debit yang masuk ke bak AS (Q_{in})

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

dengan :

$$Q_{in} = \text{Debit yang masuk ke bak AS (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q_o = \text{Debit per unit (m}^3/\text{s)}$$

$$Q_r = \text{Debit resirkulasi (m}^3/\text{s)}$$

- Volume reaktor

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_o - S)}{X_v (1 + F_b \cdot K_d \cdot \theta_c)}$$

dengan :

$$V_r = \text{Volume reaktor (m}^3)$$

$$\theta_c = \text{Umur lumpur (hari)}$$

$$Q_r = \text{Debit resirkulasi (m}^3/\text{s)}$$

$$Y = \text{Koefisien batas pertumbuhan (mg.Vss/mg.BOD)}$$

$$S_i = \text{Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/ m}^3)$$

S_e = BOD terlarut dari effluent (mg/L)

X_v = MLSS (mg/L)

F_b = Biodegradable Fraction of VSS

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

- Konsentrasi resirkulasi

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

dengan :

X_r = konsentrasi resirkulasi

X = konsentrasi MLSS (mgVSS/L)

R = rasio resirkulasi

- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (γ_{obs})

$$\gamma_{obs} = \frac{Y}{1+F_b \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

dengan :

γ_{obs} = Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

Y = Koefisien batas pertumbuhan (mg.Vss/mg.BOD)

K_d = Koefisien Endogeneous (hari)

θ_c = umur lumpur (hari)

- Produksi lumpur

$$P_{xv} = Y_{obs} \cdot S_r$$

$$S_r = Q_0 (S_0 - S)$$

dengan :

γ_{obs} = Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

Q_0 = Debit per unit (m^3 /detik)

S_i = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

S_e = BOD terlarut dari effluent (mg/L)

- Debit lumpur yang dibuang (Q_{ex})

- Jika dibuang melalui bioreactor

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

- Jika dibuang melalui resirkulasi

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

dengan :

Q_{wo} = Debit lumpur yang dibuang melalui reactor
($m^3/hari$)

Q_{wr} = Debit lumpur yang dibuang melalui resirkulasi
(m^3/s)

V_r = Volume reaktor (m^3)

X_v = MLSS (mg/L)

θ_c = Umur lumpur (hari)

- Volume lumpur

$$V_L = \frac{P_x}{\gamma \cdot C} \cdot \theta_c$$

dengan :

V_L = Volume lumpur (m^3)

θ_c = Umur lumpur (hari)

P_x = Produksi lumpur MLVSS (kg VSS/hari)

γ = Massa jenis lumpur (kg/m^3)

C = Konsentrasi lumpur

- Kontrol F/M ratio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times S_o}{V_r \times X_v}$$

dengan :

F/M = F/M ratio (/hari)

Q_o = Debit per unit (m^3/s)

S_i = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m^3)

V_r = Volume reaktor (m^3)

$$X = \text{MLVSS (kg/m}^3\text{)}$$

- Kebutuhan oksigen total

$$\text{Kebutuhan O}_2 \text{ total} = \frac{1,46 \times Q_{in} \times (C_o - C_r)}{10^3}$$

dengan :

$$Q_{in} = \text{Debit influent (m}^3\text{/s)}$$

$$C_o = \text{BOD influent (mg/l)}$$

$$C_r = \text{BOD effluent (mg/l)}$$

- Kebutuhan power aerator

$$P = \frac{\text{Kebutuhan O}_2}{\text{standar oxygenation efficiency}}$$

dengan :

$$P = \text{Kebutuhan power aerator}$$

- Jumlah *surface aerator*

$$n = \frac{\text{Kebutuhan O}_2 \text{ dalam bentuk activated sludge}}{\text{transfer O}_2 \text{ aerator (spesifikasi)}}$$

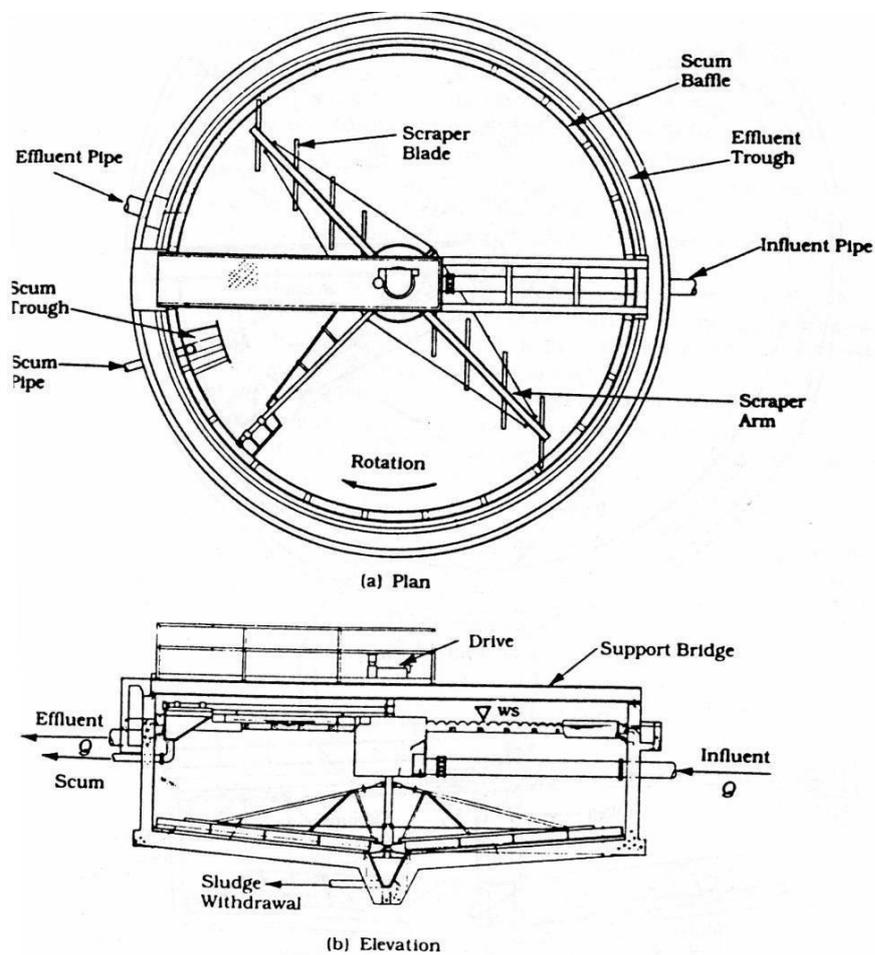
2.2.1 Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

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. Unit pengolahan tersier ini terdiri dari :

A. *Clarifier*

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

Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper 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 2.15 Clarifier

Rumus yang digunakan :

Zona Settling

Debit masuk

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

dengan :

$$Q_{in} = \text{Debit masuk total (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q_o = \text{Debit awal (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q_r = \text{Debit resirkulasi (m}^3/\text{hari)}$$

- Luas *Surface Area* (A)

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

dengan :

A = Luas permukaan (m²)

Q = Debit air limbah (m³/s)

v = kecepatan (m/s)

- Diameter

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

dengan :

D = diameter (m)

A = Luas permukaan (m²)

Zona Inlet

- Diameter inlet well (D')

$$D' = 20 \% \times D_{bak}$$

- Kecepatan air di inlet well

$$V = Q/A$$

dengan :

A = Luas permukaan (m²)

Q = Debit air limbah (m³/s)

v = kecepatan (m/s)

Zona Settling

- Kedalaman Bak (H)

$$H = \frac{Q \times td}{A}$$

dengan :

H = kedalaman bak (m)

Q = Debit air limbah (m³/s)

t_d = waktu detensi (s)

A = Luas permukaan (m^2)

- Kecepatan pengendapan partikel (V_s)

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

Dengan :

V_s = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)

H = kedalaman bak (m)

T_d = waktu detensi (detik)

- Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \cdot 18 \cdot \nu}{g (s_g - 1)}}$$

dengan :

D_p = Diameter partikel (m)

V_s = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ν = Viskositas kinematis ($0,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

S_g = specific gravity

- Kecepatan horizontal di bak (V_h)

$$V_h = \frac{Q}{\pi \times D \times H}$$

dengan :

V_h = Kecepatan horizontal di bak (m/s)

H = kedalaman bak (m)

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

D = diameter (m)

Zona Lumpur

- Volume lumpur

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{berat lumpur}}{\text{berat jenis lumpur}}$$

- Volume air

$$\text{Volume air} = 95\% \times \text{volume lumpur}$$
- Berat Air

$$\text{Berat air} = \text{Vol.air} \times \text{berat jenis air}$$
- Volume solid

$$\text{Vol. solid} = \text{vol. sludge} - \text{vol. air}$$
- Berat solid

$$\text{Berat solid} = \text{vol. solid} \times \text{berat jenis solid}$$

2.2.5 Pengolahan Sludge (*Sludge Treatment*)

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:

- a. *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang *responsibel* untuk menimbulkan bau.
- b. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu

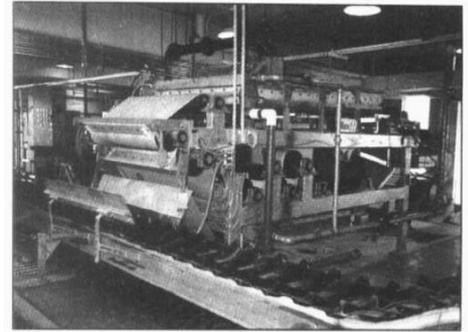
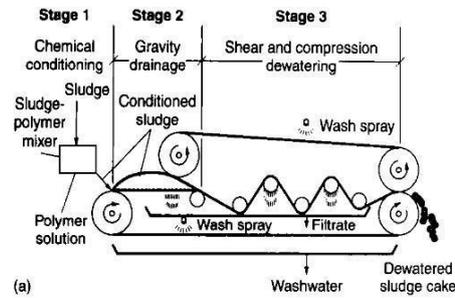
yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur. Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu *belt-filter press*, yang selengkapnya akan dijelaskan dibawah ini:

1. Belt Filter Press

Sebagian besar dari jenis Belt-Filter Press, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Dibeberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan vacuum, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan *cake* lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *Scraper blade* Sistem operasi jenis *belt-filter press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), *belt-filter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung (compressor, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt-filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. Belt-filter press ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan

pengering cake ditingkatkan dengan meniggikan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2.16 Belt Press Dewatering

(Sumber Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition)

Belt-Filter Press mempunyai ukuran lebar belt dari 0.5-3.5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar belt antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.

2.3 Persen Removal

Tabel 2.10 Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

Jenis Bangunan	Parameter Tersisih	Range% Removal	Literatur
Bak Pengendap I	TSS	60-80%	Husaiman, 2004, <i>Sedimentation and Flotation</i> , hal 14
ABR	BOD	70-95%	Direktorat Jenderal Cipta Karya, K. P. U. D. P., & Rakyat. (N.D.). Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja
	COD	65-90%	
	TSS	80-90 %	
Secondary treatment <i>Activated sludge</i>	BOD	80-90%	Casaveno, <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i> hal 15
	COD	50-95%	
	Fenol	93-99%	
	Amonia	33-99%	
<i>Secondary Clarifier</i>	TSS	50 – 70 %	<i>Metchalf and Eddy Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Halaman 396</i>

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) 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 :

- 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 :

1. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris
2. Tinggi Muka Air

Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.

- a. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- a) Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b) Kehilangan tekanan pada bak
- c) Kehilangan tekanan pada pintu air
- d) Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus

- b. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- a) Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

- b) Kehilangan tekanan pada perpipaan
- c) Kehilangan tekanan pada aksesoris
- d) Kehilangan tekanan pada pompa

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

- a) Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b) Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.
- c) Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- d) Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air