

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Air Limbah Industri Pengalengan Ikan

Air limbah merupakan produk akhir dari suatu proses produksi yang memiliki karakteristik berbeda sesuai dengan proses pengolahan dan bahan produksi itu sendiri. Sehingga dalam proses pengolahan air limbah dan jenis bangunan suatu industri selalu berbeda dan menyesuaikan karakteristiknya. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) juga memiliki karakteristik limbah yang disesuaikan dengan regulasi Baku Mutu Industri menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, termasuk air limbah industri pengalengan ikan sebagai berikut:

2.1.1. BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD (Biochemical Oxygen Demand) merupakan suatu karakteristik yang dapat menunjukkan jumlah kebutuhan oksigen yang terlarut dalam air yang dibutuhkan mikroorganisme. Biasanya menggunakan bakteri untuk mengurangi bahan organik dalam keadaan aerobik secara biokimia (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). Parameter BOD digunakan untuk penentuan kuantitas oksigen untuk menstabilkan bahan organik secara biologis dengan tepat. Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (readily decomposable organic matter). Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa nilai BOD menyatakan jumlah oksigen namun dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik yang mudah terurai. Kandungan BOD pada limbah Industri Cold Storage yaitu 1310,5 mg/L. Sedangkan Baku Mutu Air Limbah pada industri tersebut yaitu 100 mg/L. Sedangkan besar kandungan BOD pada Baku Mutu industri tersebut hanya sebesar 75 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

2.1.2. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD (Chemical Oxygen Demand) merupakan suatu karakteristik jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung

dalam air (Boyd, 1990). Parameter COD digunakan untuk mengukur padatan oksigen dari bahan organik dalam air limbah yang dapat dioksidasi secara kimiawi. Peningkatan COD akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Sami, 2012). Besarnya angka COD tersebut menunjukkan bahwa keberadaan zat organik pada air limbah berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida. Semakin sedikit kadar oksigen di dalam air berarti semakin besar jumlah pencemar (organik) di dalam perairan tersebut (Prahutama, 2013). Kandungan COD pada air limbah industri Cold Storage sebesar 2000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013).

2.1.3. TSS (Total Suspended Solid)

TSS (Total Suspended Solid) adalah zat padat antara lain pasir, lumpur, dan tanah liat atau partikel tersuspensi dalam air. TSS merupakan padatan yang tersuspensi yang tertahan pada kertas saring dengan partikel maksimal 2 μm (SNI 06-6989.3-2004). Padatan yang tersuspensi tertahan pada sebuah penyaringan dengan ukuran pori tertentu, yang diukur setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Penyaringan padatan yang paling umum digunakan untuk pengukuran TSS yaitu Whatman glass fiber filter dengan ukuran pori 1,58 μm . TSS merupakan penyebab utama kekeruhan air yang disebabkan oleh partikel- partikel tersuspensi di dalam air yang dapat mengganggu penyerapan cahaya matahari ke dalam air. Kekeruhan akan menghambat penembusan sinar matahari yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. TSS meliputi seluruh padatan yang terdapat dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik. Kandungan TSS pada air limbah industri cold storage ini adalah 480 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 30 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013).

2.1.4. Ammonia (NH₃-N)

Ammonia-nitrogen (NH₃-N) merupakan salah satu kandungan dalam air limbah domestik. Namun degradasi bahan organik dalam tahap pengolahan biologis juga memproduksi sejumlah besar senyawa ammonia. Melalui proses nitrifikasi biologis, ammonia (NH₃) dioksidasi menjadi nitrit (NO₂⁻) dan nitrat (NO₃⁻) oleh bakteri autotrofik aerobik. Hasil akhir dari proses nitrifikasi, yang merupakan nitrat (NO₃⁻) dapat dikurangi menjadi gas nitrogen (N₂) melalui proses denitrifikasi dalam kondisi anoxic. Kandungan NO₃⁻N air buangan kawasan industri ini adalah 15,52 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5 mg/L. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Pengolahan limbah cair dilakukan dari saluran pembawa, penyaringan (screening), dan bak pengumpul. Pengolahan limbah cair pada tahap pertama bertujuan untuk :

- Menyisihkan padatan kasar.
- Mereduksi ukuran padatan.
- Menyisihkan pasir.
- Dan menyisihkan padatan yang mengapung dan mengendap.

Berikut ini adalah uraian dari tiap -tiap unit bangunan pengolahan pendahuluan industri cold storage, antara lain :

1. 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 peletakan screen dipasang di bak kontrol. Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan/Slope maksimal (s_{max}) = 1×10^{-3} m/m
- Freeboard = 10 – 20 % dari ketinggian
- Dimensi saluran (W_s) = $W = 2H$

Rumus yang digunakan :

1. Luas Permukaan (A)

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

Dengan :

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m^2)

Q = Debit Limbah (m^3/detik)

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

2. Tinggi Saluran Pembawa (H)

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

Dengan :

H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)

$A = \text{Luas Permukaan Saluran Pembawa (m}^2\text{)}$

$W = \text{Lebar Saluran Pembawa (m)}$

3. Ketinggian Total

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

Dengan:

$H = \text{Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)}$

Freeboard (Fb) = 20%

4. Cek Kecepatan

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

Dengan :

$Q = \text{Debit Limbah (m}^3\text{/detik)}$

$v = \text{Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/detik)}$

$A = \text{Luas Permukaan Saluran Pembawa (m}^2\text{)}$

5. Jari-Jari Hidrolis

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

Dengan :

$R = \text{Jari – jari Hidrolis (m)}$

$H = \text{Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)}$

$W = \text{Lebar Saluran Pembawa (m)}$

6. Kemiringan (*Slope*)

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

Dengan :

s = Kemiringan Saluran / Slope (m/m)

n = Koefisien Manning Bahan Penyusun Saluran Pembawa

v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa m/detik

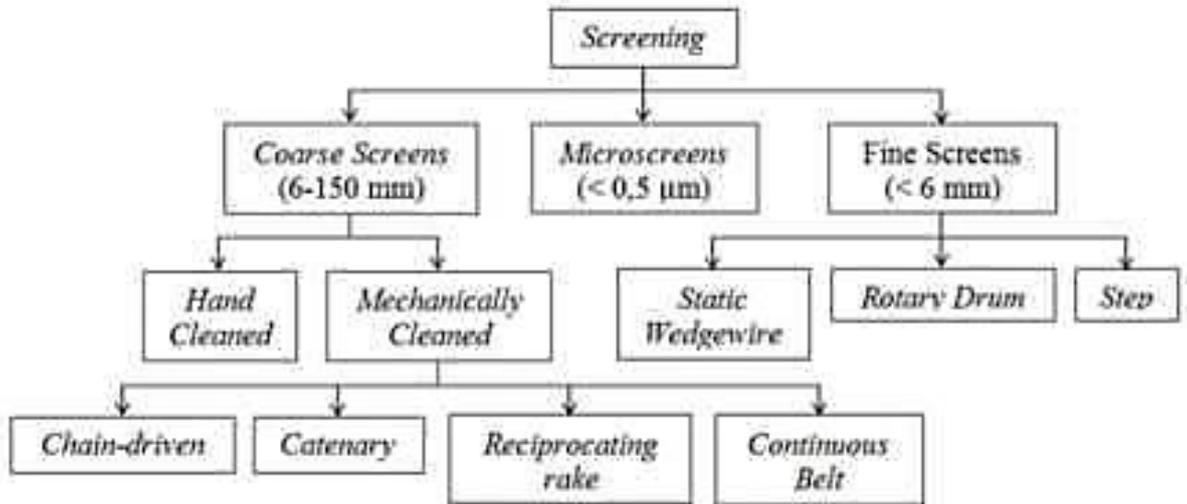
R = Jari – jari Hidrolis (m)

2. Bar Screen

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah screening. Screen merupakan sebuah alat berongga yang 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, diantaranya coarse screen, fine screen, dan microscreen. 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).



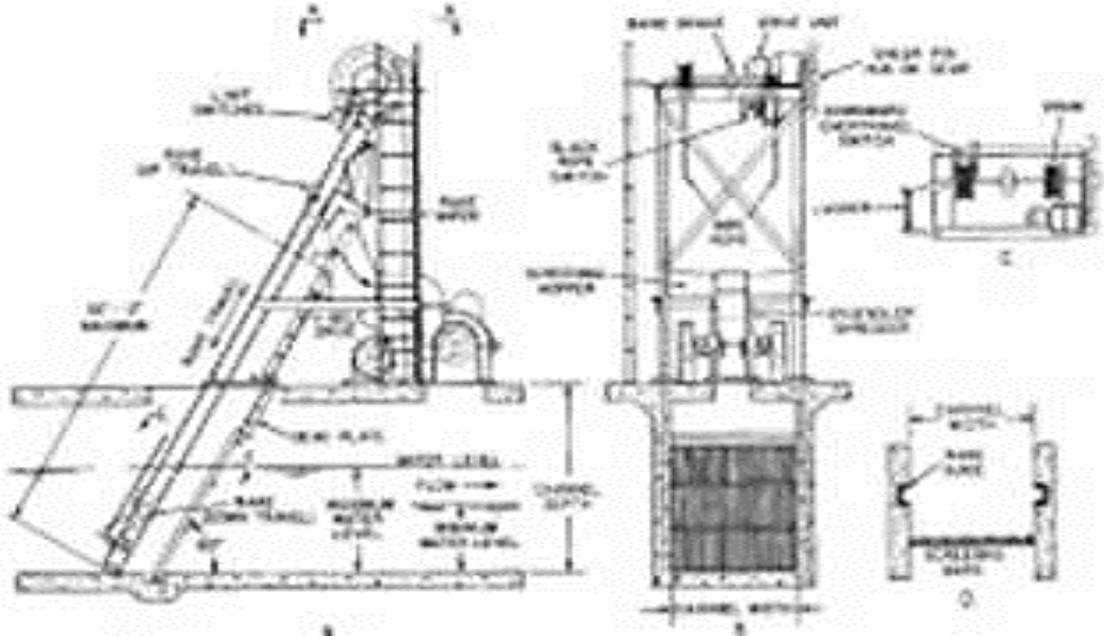
Gambar 2.1. Bagian Tipe Screening

Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*, New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

1. Coarse Screens (Penyaring Kasar)

Coarse Screens mempunyai bukaan yang berada antara 6 – 150 mm (0,25 – 6 inchi). Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0.3 – 0,6 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 – 40 mm dan bentuk penampang batang

tersebut empat persegi panjang. Bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ terhadap horizontal.



Gambar 2.2. Pembersihan Bar Screen Secara Manual

Sumber: Qasim, 1999

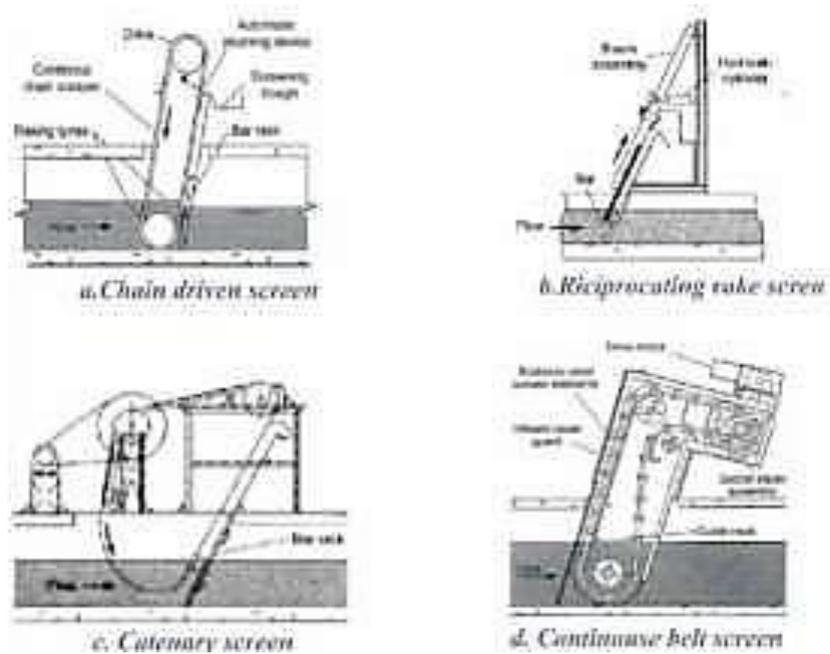


Gambar 2.3. Pembersihan Bar Screen Manual di Lapangan

Sumber: Google, 2021

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

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



Gambar 2.4. Tipe-Tipe Mechanical Bar Screen

Adapun kriteria perancangan untuk mendesain coarse screen baik dengan membersihkan secara manual maupun mekanis adalah sebagai berikut :

Tabel 1.1. Kriteria Perancangan Saringan Kasas (Coarse)

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanikal	Unit	Manual	Mekanikal
<u>Ukuran batang</u>						
Lebar	inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	inch	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar Batang	inch	1,0 - 2,0	0,6 - 0,3	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30 - 45	0 - 30	mm	30 - 45	0 - 30
<u>Kecapatan</u>						
Maximal	ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimal	ft/s	-	1,0 - 1,6	m/s	-	0,3 - 0,5
Headloss	inch	6		mm	150	150 - 600

Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition, New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

2. 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 (Pre-Treatment) adalah seperti ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum), atau seperti anak tangga (step type). Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2 – 6 mm.



Gambar 2.5. (a) Incleaned screen, (b) Rotary Drum Screen, (c) Fixed Parabolic Screen

Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc

Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS. Tabel 2.1 merupakan kemampuan penyisihan oleh *fine screen* (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2.2. Persen Removal Fine Screen

Jenis Screen	Luas Permukaan		% Removal	
	Inch	mm	BOD (%)	TSS (%)
Fixed Prabolic	0,0625	1,6	5 - 20	5 - 30
Rotary Drum	0,01	0,25	25 - 50	25 - 45

Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse 4th edition*,. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Tabel 2.3. Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch			mm
Miring (diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat 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	
Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch			mm
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel Pengolahan Primer	
	Halus	-	6 - 35 jam	Stainless-steel dan kain polyester Meremoval residual dari suspended solid sekunder	
Horizontal Reciprocating Tangential	Sedang	0,06	0,17	Batangan stainless-steel Gabungan dengan saluran air hujan	
	Halus	0,0475	1200	Jala - jala yang terbuat dari stainless-steel Gabungan dengan saluran pembawa	

Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* 4th edition, Tabel 5.4. New York: McGraw- Hill Companies, Inc

3. Micro Screen (Penyaring Halus)

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

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

3. Bak Penampung

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



Gambar 2.6. 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:

a) Volume bak penampung

$$V = Q \times td$$

Dengan:

V = Volume bak penampung (m³) Q = Debit limbah (m³/s)

td = Waktu detensi (s)

b) Ketinggian total bak penampung

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

Dengan:

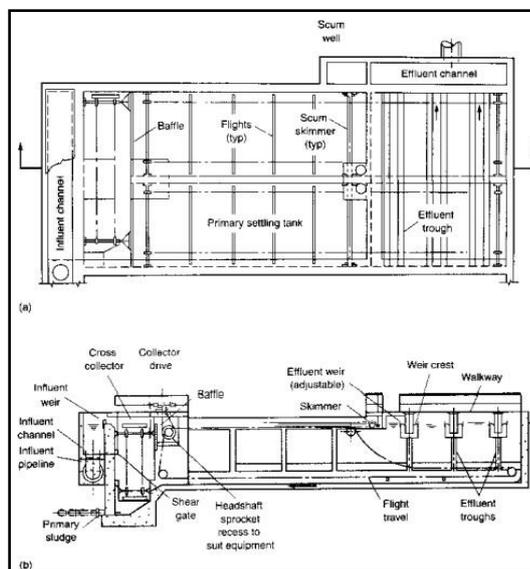
H_{total} = Kedalaman total bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

Fb = 10% - 30%

4. Sedimentasi

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.



Gambar 2.7. Bak Sedimentasi (a) denah (b) potongan

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

1. Zona Inlet

Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

2. Zona Outlet

Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

3. Zona Settling

Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

4. Zona Sludge

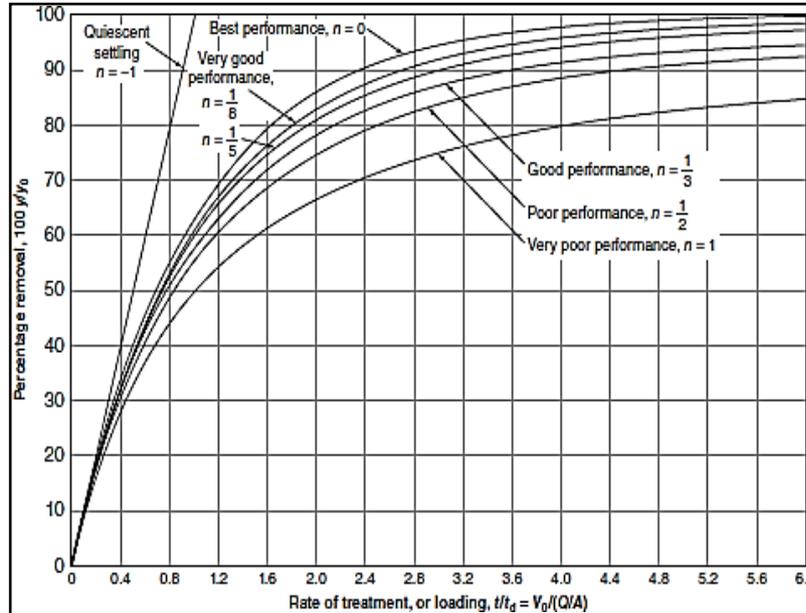
Kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet.

Inlet baffle efektif dalam mengurangi kecepatan awal yang tinggi dan mendistribusikan aliran pada luas penampang yang seluas mungkin. Jika baffle lebar penuh digunakan, baffle harus memanjang dari 150 mm di bawah permukaan hingga 300 mm di bawah bukaan pintu masuk (Metcalf & Eddy, 2004). Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel

Menentukan peformasi dari bak Sedimentasi berdasarkan persen removal TSS, bisa memilih menggunakan efektivitas performancinya.



Gambar 2.8. Performance curves for settling basins of varying effectiveness

Sumber: Fair et al., 1971

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

Dengan :

Q/A = Over Flowrate

- Massa jenis partikel flok (ρ)

$$\rho = S_g \times \rho_{\text{air}}$$

Dengan:

S_g = specific gravity

P = massa jenis partikel flok (kg/m³)

ρ air = massa jenis air (kg/m^3)

➤ Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \left(\frac{V_s \times 18 \times \nu}{g \times (S_s - 1)} \right)^{0,5}$$

Dengan :

V_s = kecepatan pengendapan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ν = viskositas kinematis (m^2/s)

S_s = specific gravity

➤ Cek kecepatan penggerusan (V scouring)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{B \times \beta \times g \times (S_g - 1) \times D_p}{\lambda}}$$

Dengan :

λ, β = kontrol penggerusan

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

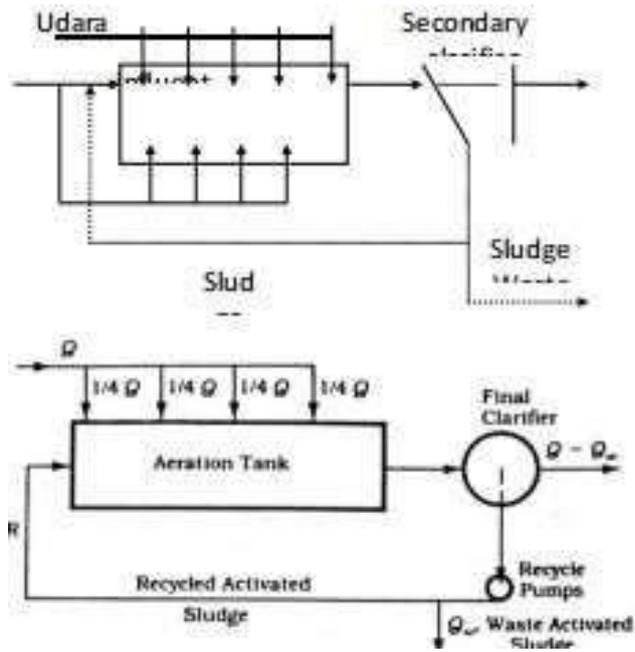
d_p = diameter partikel (m)

5. Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat.

Modifikasi proses pada lumpur aktif sistem dapat dilakukan dengan:

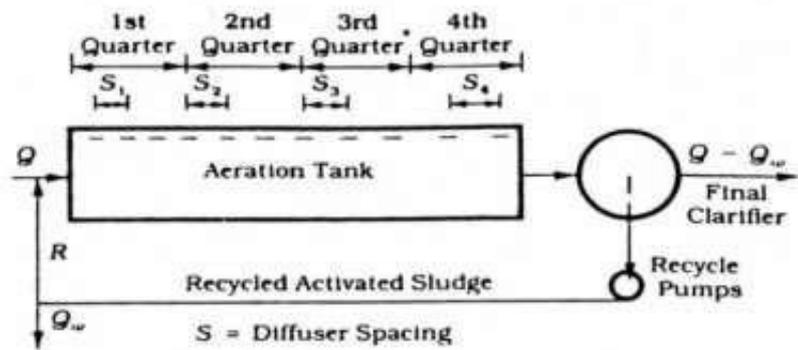
- a. Merubah konfigurasi sistem inlet.
- b. Merubah konfigurasi parameter utama seperti F/M ratio, rasio resirkulasi, umur lumpur dan lain-lain.



Gambar 2.10. Step Aeration

➤ Tapered Aeration

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

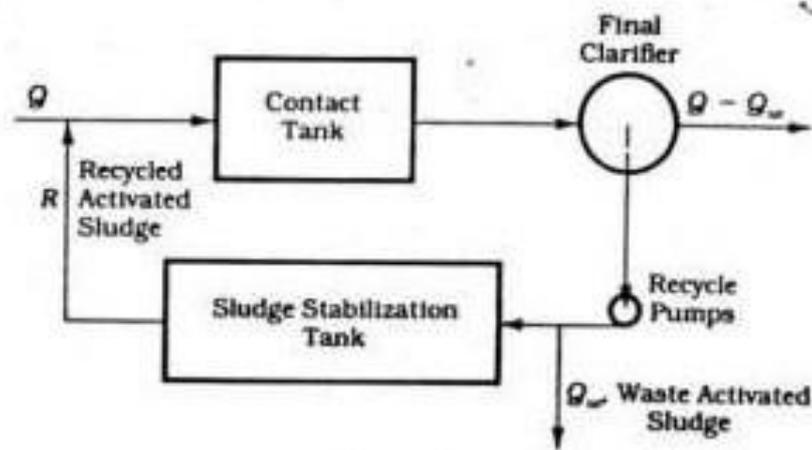


Gambar 2.11. Tapered Aeration

c. Contact Stabilization

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu:

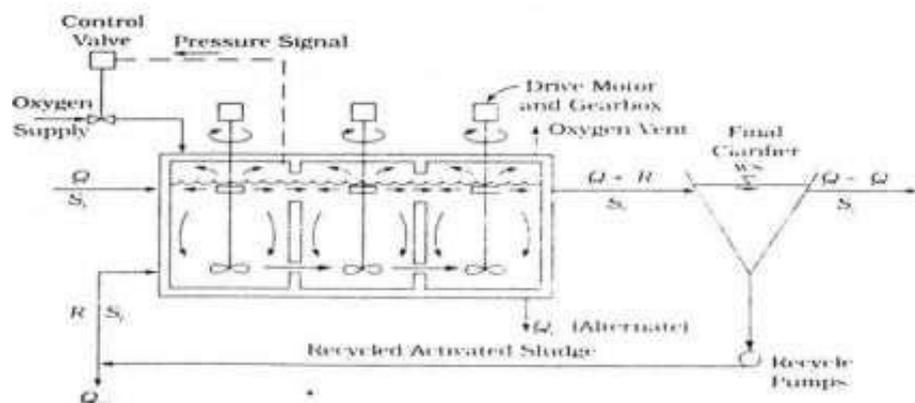
- Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
- Reaeration tank yang berfungsi untuk mengosidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).



Gambar 2.12. Contact Stabilization

- Pure Oxygen

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



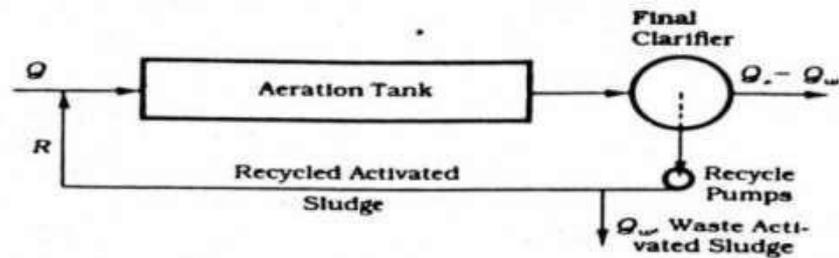
Gambar 2.13. Pure Oxygen

- High Rate Aeration

Kondisi ini tercapai dengan meningkatkan 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.



Gambar 2.14. Extended Aeration



Gambar 2.15. Aerated Activated Sludge

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

a. Partikula BOD Effluent

$$\text{BOD}_{\text{ss}} = \text{BOD Effluent} \times \left(\frac{\text{MLVSS}}{\text{MLSS}} \right) \times \text{Fb}$$

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

Dengan :

VSS/SS = rasio perbandingan VSS dan SS

FB = Fraksi biodegradable

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

b. Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

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

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

c. Debit resirkulasi

$$Q = R \times Q_0$$

Dengan :

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/detik)

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

R = Rasio resirkulasi

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

d. Debit total bioreaktor

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

Dengan :

Q_{tot} = Debit total (m³/detik)

Q_r = Debit resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

e. Konsentrasi BOD dalam bioreaktor

$$S_a = \frac{(S_o \times Q_o) + (S_r \times Q_r)}{(Q_o + Q_r)}$$

Dengan :

S_a = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_r = Konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

S_o = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_r = Debit resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

f. Volume bioreaktor

$$V = \frac{Y \times \phi_c \times Q_a \times (S_o \times S_a)}{X_a \times (1 + K_d \times F_B \times \phi_c)}$$

Dengan :

v = volume bioreaktor

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

ϕ_c = umur lumpur (hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total (m³/detik)

X_a = MLVSS (mg/L)

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

FB= Biodegradable fraction of VSS

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

g. Kedalaman bioreaktor

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

Dengan :

H total = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

Fb = freeboard (5%-30% x h)

h. F/M Rasio

$$\frac{F}{M} = \frac{S_a}{t_d \times X_a}$$

Dengan :

Sa = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

Xa= MLVSS (mg/L)

Td= waktu tinggal hidrolis (jam)

i. Konsentrasi resikulasi lumpur

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

Dengan :

Xr= Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Qr= Debit resirkulasi (m³/detik)

Qo= Debit air limbah awal (m³/detik)

Xa= MLVSS (mg/L)

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

j. Produksi lumpur tiap hari

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

$$S_r = Q_a \times (S_0 - S_a)$$

$$P_{XX} = Y_{obs} \times S_r$$

$$P_X = \frac{p \times v}{\frac{VSS}{SS}}$$

Dengan :

P_X = produksi lumpur (kg/hari)

Y_{obs} = koefisien observed yield

θ_c = umur lumpur (hari)

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

F_b = biodegradable fraction of VSS

S_r = penyisihan beban BOD (kg/hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_0 = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total (m³/detik)

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

1. Debit lumpur yang dibuang

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

$$Q_{ex} = \frac{v}{\theta_c} \times \frac{x}{x_r}$$

Dengan :

V = volume bioreactor θ_c = umur lumpur

X = MLSS (mg/L)

X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

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

k. Volume lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{P_x}{P_{\text{lumpur}} \times c} \times \theta_c$$

Dengan :

V_{lumpur} = volume lumpur (m³)

P_x = Produksi lumpur (kg/hari)

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

C = konsentrasi lumpur

θ_c = umur lumpur(hari)

l. Kebutuhan oksigen

Kebutuhan teoritis = $O_2/S_r \times S_r$

Keb. O_2 teoritis = Keb. Teoritis x faktor desain

Kebutuhan udara teoritis = $\frac{\text{Keb } O_2 \text{ teoritis}}{\text{Berat standar udara} \times \%O_2}$

Kebutuhan udara aktual = $\frac{\text{Kebutuhan udara teoritis}}{\text{Efisiensi blower}}$

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

m. Desain perpipaan diffuser

$$\text{Panjang pipa lateral (Ll)} = \frac{w \text{ bioreaktor} - DM}{2}$$

$$LM = (n \times DL) + ((n + 1) \times rL)$$

$$LL = (n \times Do) + ((n + 1) \times ro)$$

Dengan :

LM = Panjang pipa manifold (m)

LL = Panjang pipa lateral (m)

DM = Diameter pipa manifold (m)

DL = Diameter pipa lateral (m)

DO = Diameter lubang oriface (m)

rL = Jarak antar pipa lateral (m)

ro = Jarak antar lubang oriface (m)

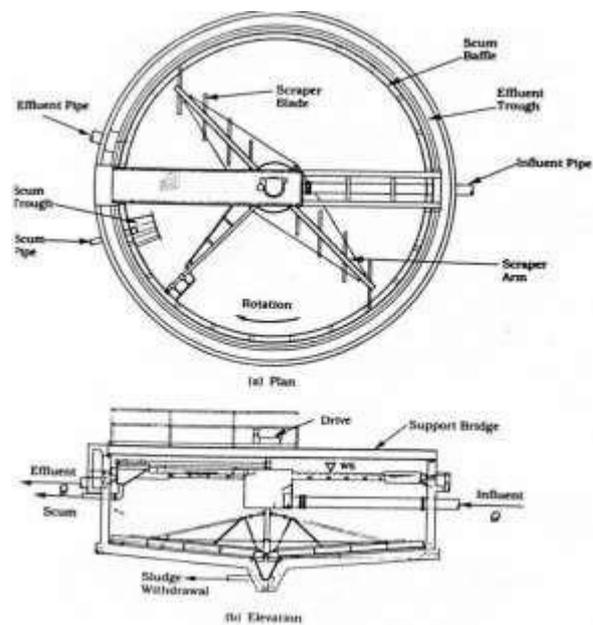
6. Clarifier

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

Bangunan clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing-

masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10-15 feet (3-4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).



Gambar 2.16. Clarifier

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

A. Zona Settling

a. Luas Penampang (A)

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

Dengan :

A = luas penampang bak (m²)

Q = debit air limbah (m³/hari)

OFR = over flow rate (m/hari)

Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 409

b. Diameter bak (D)

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

Dengan ;

D = Diameter bak pengendap 1 (m)

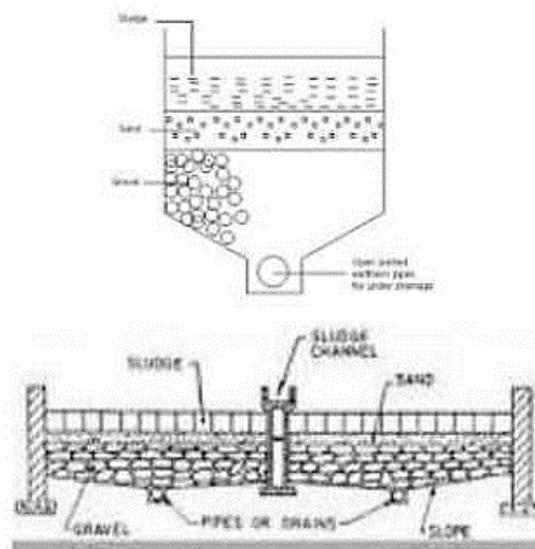
A = luas penampang (m²)

7. Sludge Drying Bed

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 openjoin). (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)



Gambar 2.17. Sludge Drying Bed

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)

Daya tampung sludge drying bed dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan sludge / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{tahun}$). Data tipikal untuk variasi sludge / lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini:

Tabel 2.4. Kebutuhan Luas Lahan Tipikal Untuk Reaktor Sludge Drying Bed dengan Macam Solid

Tipe Biosolid	Luas Lahan*		Sludge Loading Rate	
	ft ² /person	km ² /person	lb lumpur kering/ft ² .tahun	kg lumpur kering/m ² .tahun
Primary Digested	1-1,5	0,1	25-30	120-150
Humus Trickling Filter	1,25-1,75	0,12-0,16	18-25	90-120
Lumpur Activated Sludge	1,75-2,5	0,16-0,23	12-20	60-100
Lumpur Presipitasi Kimia	2-2,5	0,19-0,23	20-33	100-160

* Berdasarkan kebutuhan luas lahan untuk memenuhi variasi antara 70-75% *Sludge Drying Bed* terbuka.

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003)

2.3. Persen Removal

Unit	Parameter	Persen Removal	Sumber
Saluran Pembawa	-	-	-
Screening	-	-	-
Bak Penampung	-	-	-
Sedimentasi	TSS	55%	Droste, Ronald L, 1997 hal 232
Activated Sludge	BOD	93-98%	Sperling 2007, Volume 5 Halaman 13
	COD	90-95%	
	NH ₃	90-95%	
Clarifier	TSS	70-90%	Vincent Cavaseno, Industrial Wastewater

			and Solid Waste Engineering page 15
Sludge Drying Bed	-	-	-

Sumber : Data Perencanaan

2.4. Profil Hidrolis

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

a. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- 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 Perpipaan dan Aksesoris

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

c. Tinggi Muka Air

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

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