

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri

Air limbah industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Banyak sedikitnya beban polutan yang terkandung dalam air limbah industri perlu adanya pengukuran secara langsung atau dapat juga diperkirakan berdasarkan pada jenis industri yang sejenis (Said, 2017).

Demikian pula dengan industri tepung tapioka mempunyai karakteristik dan parameter limbah yang berbeda diantaranya,

2.1.1 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD atau Biochemical Oxygen Demand adalah suatu parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). Merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang digunakan untuk menguraikan senyawa organik yang tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba (Handbook “*Environmental Management and Technology*”, Hal. 239).

2.1.2 COD (Chemical Oxygen Demand)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai/limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf and Eddy, 2003).

2.1.3 TSS (Total Suspended Solids)

Zat padat tersuspensi (Total Suspended Solid) adalah semua zat padat (pasir, lumpur, dan tanah liat) atau partikel-partikel yang tersuspensi dalam air dan dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, ataupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel-partikel anorganik. Jenis partikel koloid tersebut adalah penyebab kekeruhan dalam air (efek tyndall) yang disebabkan oleh penyimpanan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut (Alaerts dan Santika, 1987). TSS ditentukan dengan pengujian menggunakan filter (penyaring). Filter yang sering digunakan dalam menentukan kadar TSS adalah filter Whatman Fiber Glass yang memiliki nilai ukuran pori sekitar 1,58 μm (Metcalf and Eddy, 2003).

2.1.5 pH

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Sugiharto, 2008). Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit / konduktivitas suatu larutan.

2.1.6 Sianida

Kandungan sianida yang terkandung dalam limbah industri tepung tapioka berasal dari bahan baku pembuatan tepung yaitu singkong. Sianida memiliki sifat beracun apabila berikatan dalam rantai sianogenik glikosida yang mengandung glukosa, aseton, dan HCN. Pada industri tepung tapioka sianida yang terkandung adalah sianida bebas atau HCN. HCN merupakan senyawa kompleks dari senyawa sianida sederhana yang berikatan dengan logam sehingga memiliki sifat yang lebih stabil. HCN merupakan senyawa kompleks dari senyawa sianida sederhana berikatan dengan logam sehingga stabil. Asam sianida (HCN) bersifat

beracun dari hasil hidrolisis sianida dan tidak berwarna pada kondisi gas maupun cair (Apsari et al., 2018).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri tepung tapioka ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, Sianida (HCN), dan pH . Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah :

- a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)
- b. Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)
- c. Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)
- d. Pengolahan Ketiga (*Tertiary Treatment*)
- e. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

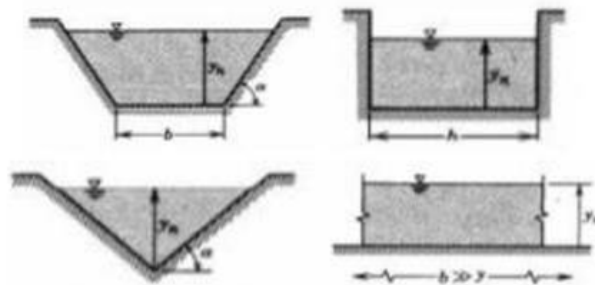
2.1.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre Treatment)

Proses pengolahan pendahuluan merupakan proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir dengan menggunakan saringan kasar atau dengan alat pencacah agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Adapun tujuan pengolahan ini menyortir kerikil, koral, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. 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. Unit proses pengolahan untuk pre treatment untuk kawasan industri meliputi :

a. Saluran Pembawa

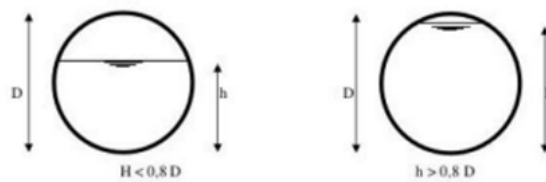
Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan beda ketinggian atau

perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.



Gambar 2.1 Saluran Terbuka

Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2.2 Saluran Tertutup

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang

alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie & Sugiyanto, 2002). Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, air limbah dari proses produksi dialirkan menuju bak penampung atau sumur pengumpul melalui saluran pembawa.

Kriteria Perencanaan

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3
- 0,6 m/s

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

2. Freeboard = 5% -
30%

(Sumber : Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159)

3. Koefisien Manning (n) Untuk Bahan Saluran Beton =
0,013

(Sumber : Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 111)

Tabel 2.1 Koefisien n Manning Untuk Saluran Pembawa

Batas Bahan	N Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018

Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

(Sumber : Spellman, F. R. (2013). *Water & Wastewater Infrastructure : Energy Efficiency and Sustainability*. Halaman 285)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{v} \quad (2.1)$$

Dengan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = Debit limbah (m³/s)

v = Kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

- Kedalaman Saluran (H) (2.2)

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

Dengan :

H = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = Lebar saluran pembawa (m)

- Kedalaman Total (H_{total})

$$H_{total} = H + (\%Fb \times H) \quad (2.3)$$

Dengan :

H = Kedalaman air dalam saluran pembawa

(m/s)

Fb = 5 - 30% Ketinggian

- Cek Kecepatan

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.4)$$

Dengan :

v = Kecepatan fluida dalam saluran pembawa

(m/s)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = Debit limbah (m³/s)

- Jari - jari Hidrolis

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \quad (2.5)$$

Dengan :

R = Jari - jari hidrolis (m/s)

B = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

H = Lebar saluran pembawa

- Slope Saluran

$$S = \left(\frac{n v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \quad (2.6)$$

Dengan :

S = Kemiringan saluran (m/m)

n = Koefisien kekasaran Manning

v = Kecepatan aliran dalam saluran pembawa

(m/s)

R = Jari - jari hidrolis (m)

- *Headloss* Saluran

$$H_f = S \times L \quad (2.7)$$

Dengan :

H_f = *Headloss* saluran(m)

S = *Slope* saluran (m/m)

L = Panjang saluran (m)

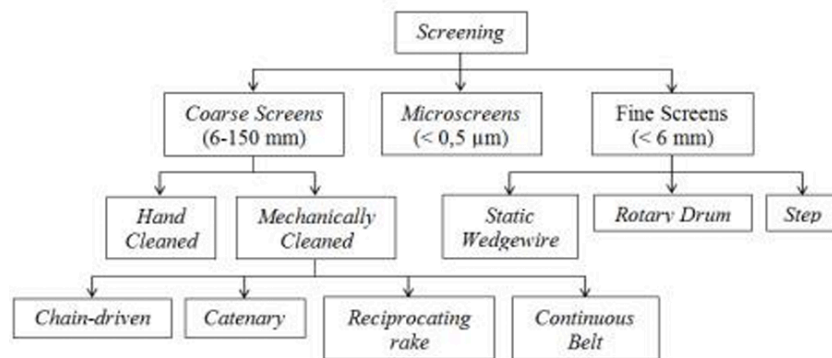
b. Screening

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. Secara umum, proses screening dilakukan untuk memisahkan berbagai benda padat yang ada pada air limbah seperti kertas, plastik, kayu, kain, dan benda padat lainnya. Benda-benda tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur serta sistem perpipaan jika tidak dipisahkan terlebih dahulu dalam air limbah (Said, 2017).

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. 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 2.3 Bagian Tipe Screening

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

a. *Coarse Screen* (Penyaring Kasar)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. 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° - 45° terhadap horizontal.



Gambar 2.4 Pembersihan Bar Screen Manual di Lapangan

(Sumber :

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

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

1. *Chain Driven Screen*
2. *Reciprocating Rake Screen*
3. *Catenary Screen*
4. *Continuous Belt Screen*

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

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
Ukuran Batang						
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 - 3,0	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap Vertikal	°	30 - 45	0 - 30	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
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	6 - 2,4	mm	150	150 - 600

(Sumber : Metcalf and Eddy. 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*. Halaman 315 - 316 . New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

b. Fine Screen (Penyaring Halus)

Penyaring halus (*Fine Screen*) berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2003). Pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar screen) dan pada pengolahan primer (mengganti fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan Biological Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). Fine Screen juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari efluen 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 yang berkisar antara 0,2-6 mm.

Tabel 2.3 Klasifikasi *Fine Screen*

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran		
		Inch	mm	
Miring (Diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat yangterbuat dari <i>stainless steel</i>
Drum (berput ar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>
	Halus	-	6 - 35	<i>Stainless Steel</i> dan kain polyester
Horizo ntal Recipro cating	Sedang	0,06 - 0,17	1,6 - 4	Batangan <i>stainless steel</i>
Tangen sial	Halus	0,0475	1200	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i>

c. Microscreen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat/material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi microscreen berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan

microscreen tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20 - 40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003).

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah Batang Kisi

$$Ws = n \times d + (n + 1) \times r \quad (2.8)$$

Dengan :

- Ws = Lebar saluran (m)
- n = Jumlah batang
- r = Jarak antar kisi (m)
- d = Lebar screen (m)

- Lebar Bukaannya Kisi

$$Wc = Ws - (n \times d) \quad (2.9)$$

- Wc = Lebar bukaan kisi (m)
- Ws = Lebar saluran
- n = Jumlah kisi
- d = Lebar kisi (m)

- Kecepatan yang Melalui Screen

$$v = \frac{Q}{Wc \cdot h} \quad (2.10)$$

Dengan :

- v = Kecepatan yang melalui screen (m/s)
- Q = Debit limbah (m³/s)
- Wc = Lebar bukaan kisi (m)
- h = Tinggi kisi (m)

- Tinggi Kisi (h)

$$h = H + \text{freeboard} \quad (2.11)$$

Dengan :

H = Kedalaman saluran (m)

- Panjang Kisi

$$x = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (2.12)$$

α = Sudut kemiringan kisi (45° - 60°)

h = Tinggi kisi

x = Panjang kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi

$$L = \cos \alpha \cdot x \quad (2.13)$$

Dengan :

α = Sudut kemiringan kisi (45° - 60°)

x = Panjang kisi (m)

L = Jarak kemiringan kisi

- *Headloss* pada Bar Screen

$$H_f = \frac{1}{C} x \left(\frac{v^2 - u^2}{2 x g} \right) \quad (2.14)$$

Dengan :

H_f = *Headloss* (m)

C = Koefisien empiris yang dihitung untuk aliran

turbulen dan eddy losses

= 0,7 untuk screen saat non clogging

= 0,6 untuk screen yang terjadi

clogging

g = Gravitasi, 9,8 m/s²

v = Kecepatan yang melalui bar screen

(m/s)

u = Kecepatan perencanaan (m/s)

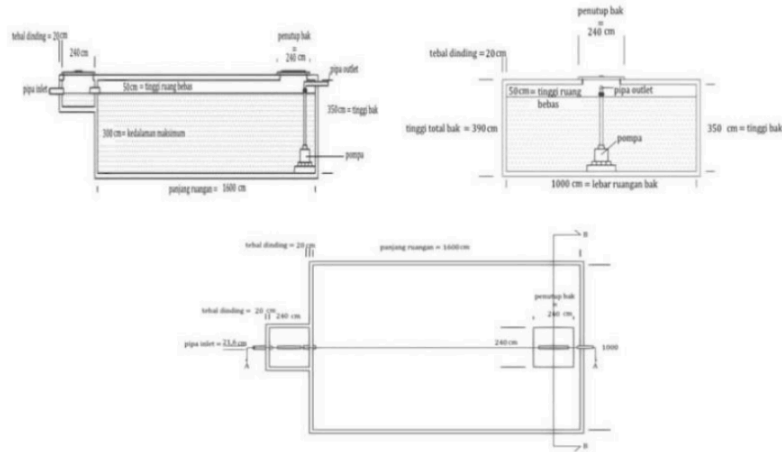
c. Bak Penampung

Bak Pengumpul merupakan salah satu pengolahan pendahuluan dalam Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) yang dilengkapi dengan pompa yang digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit instalasi pengolahan air limbah selanjutnya (biasa disebut stasiun pemompaan). Selain itu fungsi lain bak penampung yaitu untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Terdapat manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain :

1. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan
2. Kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan
3. Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan)

4. Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.



Gambar 2.5 Unit Bak Penampung dan Gambar Potongan Bak Penampung

(Sumber : Effendi, 2003)

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018) :

1. Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
2. Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Kriteria Perencanaan

1. H = 1,5 - 2 m
2. Kecepatan aliran (v) = 0,3 - 0,6 m/s

(Sumber : Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition, Hal 343-344)

3. Freeboard = 5% - 30 % H

(Sumber : Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Hal 159)

4. t_d = < 2 jam

(Sumber : Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition, Hal 344)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

- Volume Bak Penampung

$$V = Q \times t_d \quad (2.15)$$

Dengan :

V = Volume bak penampung (m^3)

Q = Debit limbah (m^3/s)

t_d = Waktu detensi (s)

- Ketinggian Total Bak Penampung

$$H_{Total} = H + (Fb \times H) \quad (2.16)$$

Dengan :

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

Q = Kedalaman bak penampung (m)

Fb = Freeboard, 5% - 30%

2.1.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

Proses pengolahan pertama merupakan proses fisik dan kimia. Proses fisik dapat berupa pengendapan pertama untuk memisahkan padatan tersuspensi dan flotasi yang berfungsi untuk meremoval minyak dan lemak. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (sludge) sedangkan minyak dan lemak akan berada diatas permukaan (grease). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah sedimentasi primer dan flotasi.

a. Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).

Seegera inti flok bentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan Flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Proses koagulasi-flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada gambar dibawah ini. Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). 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 15 parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012)

1. Jenis Pengadukan

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

- Pengadukan Cepat

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 15 parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012)

- a. Untuk proses koagulasi-flokulasi:

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
 - $G = 700 - 1000/s$

- b. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
 - $G = 700 - 1000/s$

- c. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain) :

- Waktu detensi = 0,5 - 6 menit
 - $G = 700 - 1000/s$

- 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).

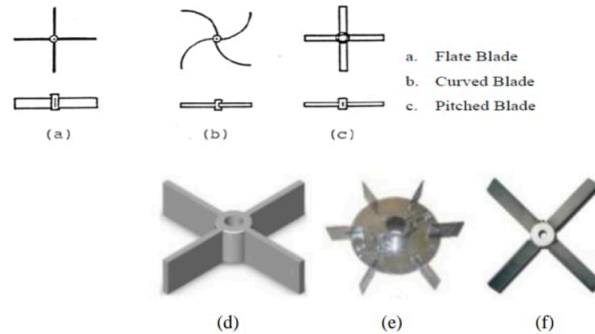
- a. Untuk air Sungai
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- b. Untuk air waduk
 - Waktu = 30 menit
 - $G = 10^{-7}$
- c. Untuk air keruh
 - Waktu dan G lebih rendah
 - Bila menggunakan gram besi sebagai koagulan G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
- d. Untuk flokulator 3 kompartemen
 - G kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3 : nilai terkecil
- e. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur dan soda)
 - Waktu detensi = minimum 30 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- f. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain lain)
 - Waktu detensi = 15 - 30 menit
 - $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
 - $GTd = 10.000 - 100.000$

- 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), turbin, dan propeller (balik-balik).

a. Tipe Turbine



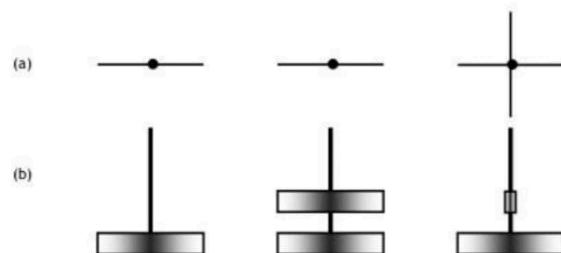
Gambar 2.6 Tipe Turbine Impeller

(Sumber : S. R. Qasim et al., 2000)

Sedangkan kriteria dari turbin propeller ini adalah sebagai berikut :

- Diameter impeller = 30 – 50 % dari diameter atau lebar bak.
- Kecepatan impeller = 10 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0,1 dari diameter atau lebar bak.

b. Tipe Paddle



Gambar 2.7 Tipe Paddle Impeller

(Sumber : Masduqi & A.F. Assomadi, 2012)

Kriteria dari Paddle Impeller ini adalah sebagai berikut :

- Diameter = 50 – 80 % dari diameter atau lebar bak
- Kecepatan = 20 – 150 rpm
- Baffle dalam bak = 0,1 dari diameter atau lebar bak
- Lebar paddle = $\frac{1}{4}$ - 1/10 dari diameter bak atau lebar bak

c. Tipe Propeller



Gambar 2.8 Tipe Propeller Impeller
(Sumber : S. R. Qasim et al., 2000)

Kriteria dari Propeller ini adalah sebagai berikut :

- Kecepatan = 400 - 1750 rpm
- Baffle dalam bak = 0,1 dari diameter atau lebar bak.
- Terdiri dari = 2 - 4 blades Max.
- Max. Diameter propeller = 18 inch

Power yang diberikan pada air yang diolah oleh propeller yang berbeda harus menghasilkan aliran turbulen dengan $NRe > 10000$. Power yang diberikan oleh impeller pada bak berbaffle dapat dihitung :

$$P = \frac{K_T \cdot n^3 \cdot D_i \cdot \gamma}{gc} \quad (2.30)$$

Dengan :

P = Power, ft.lb/sec

KT = Konstanta Impeller untuk aliran turbulen

n = Kecepatan rotasi, rps

Di = Diameter impeller

γ = Densitas larutan, lb/ft³

g = Gaya gravitasi, 32.17 ft/sec²

Tabel 2.4 Konstanta KT dan KL

Jenis Impeller	KT	KL
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine , 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/Wi = 4	43,0	2,25
Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 6	36,5	1,70
Flats paddles, 2 blades, Di/Wi = 8	33,0	1,15
Flats paddles, 4 blades, Di/Wi = 6	49,0	2,75
Flats paddles, 6 blades, Di/Wi = 8	71,0	3,82

(Sumber : Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, Hal 184)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan t_d .

Tabel 2.5 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

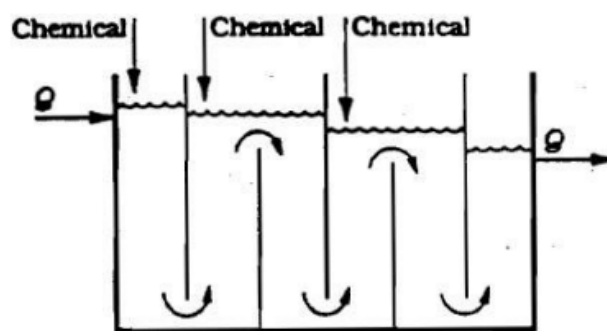
Waktu Pengadukan, t_d (detik)	Gradien Kecepatan (L/detik)
20	1000
30	900
40	790
$50 \geq$	700

(Sumber : Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. (1996). Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition). Boston: PWS Publishing Company)

- **Pengadukan Mekanis**

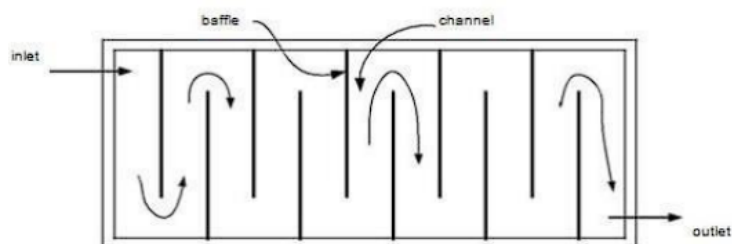
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu 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 (baffled channel), perforated wall, gravel bed dan sebagainya. (Ali Masduqi dan Abdu F.Assomadi, 2012).



Gambar 2.9 Baffle Basin Rapid Mixing

(Sumber : Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. 2nd edition)



Gambar 2.10 Baffle Channel Slow Mixing

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

- Pengadukan Mekanis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. 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.

Kriteria Perencanaan

- Koagulasi

1. Waktu tinggal dalam bak (td) = 20 - 60 s
2. Gradien Kecepatan (G) = 700 - 1000 / s
3. Tinggi bak = 1 - 1,25 diameter atau lebar bak

(Sumber : Operasi dan Proses Pengolahan Air, Hal 109)

4. Freeboard = 20% - 30%

- Flokulasi

1. Gradien Kecepatan (G) = 10 - 75/detik
2. Waktu Detensi = 1200 detik
3. Kecepatan (v) = 0,1 – 1 m/s

(Sumber : Masduqi & Assomadi, 2012, Hal 110)

4. Luas paddle = 5 – 20% area bak

(Sumber : Kawamura. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*)

5. Jarak antar baffle = > 45 cm
6. Jarak baffle dengan dinding = > 60 cm
7. Kedalaman air (H) = > 1 m

8. Koef. Kekasaran dinding (f) = 0,3 m

(Sumber : Wahyono Hadi, Hal 70)

9. Nre Laminer = < 2000

10. NFr = > 10⁻⁵

(Sumber : Reynolds. 1982. Unit Operation and Processes in Environmental Engineering. Hal. 224)

11. Massa jenis air (ρ air), T (27°C) = 996,54 kg/m³

12. Viskositas absolute (μ), T (27°C) = 0,8551 $\times 10^{-3}$ Ns/m²

(Sumber : Reynolds & Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, Hal 762.)

b. Bak Pengendap I (Sedimentasi)

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung, sehingga dapat mengurangi kandungan padatan tersuspensi. Sedimentasi primer digunakan sebagai langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut air limbah. Sedimentasi yang dirancang dan dioperasikan secara efisien harus menghilangkan 50 - 70 % padatan tersuspensi dan dari 25 - 40 % BOD (Metcalf & Eddy, 2003). Efisiensi removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap I ini berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak pengendap I adalah pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, yang selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh adalah pengendapan Koagulasi – Flokulasi. Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan column settling test dengan

with drawal ports. Pada waktu tertentu dan dapat removal maka didapat grafik isoremoval.

Kriteria Perencanaan

- Zona Pengendapan (Settling Zone)

1. Over Flow Rate (OFR)

- Average $= 30 - 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

- Peak $= 70 - 130 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

2. Waktu Tinggal (td) $= 0,6 - 3,6 \text{ jam}$

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

3. Diameter (D) $= 30 - 60 \text{ m}$

4. Kedalaman (H) $= 3 - 6 \text{ m}$

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

5. %Removal TSS $= 50 - 70 \%$

(Sumber : Huisman, 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12)

6. Bilangan Reynold (N_{Re}) $= < 2000$ (Aliran Laminer)

7. Bilangan Froude (N_{Fr}) $= > 10^{-5}$ (Mencegah Aliran Pendek)

(Sumber : SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

8. *Specific Gravity Suspended Solid* $= 1,3 - 1,5$

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical Engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)

9. Slope ke Arah Zona Sludge = 40 - 100 m/m

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)

10. Cek N_{Re} Partikel = < 0,5

11. Syarat Terjadinya Pengendapan ($T_p < T_d$)

12. Syarat Terjadinya Penggerusan ($V_{sc} > V_h$)

- Kinematic Viscosity (ϑ) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Absolute Viscosity (μ) = $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
- Massa Jenis (ρ) = $0,99681 \text{ g/cm}^3$
= $996,81 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Appendix. C. Reynolds & Richards, 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)

13. Koefisien Manning (n) = 0,012 - 0,016

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

14. Kontrol Penggerusan

- Faktor Kisi Porositas (β) = 0,05
- Faktor Fraksi Hidrolis (λ) = 0,03

(Sumber : Huisman, 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 57)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

1. Zona Settling

- Luas *Surface Area*

$$A = \frac{Q}{OLR} \quad (2.31)$$

Dengan :

A = Luas permukaan (m²)

Q = Debit air limbah (m³/hari)

OLR = *over flow rate* (m³/m². hari)

- Diameter

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (2.32)$$

Dengan :

A = Luas permukaan (m²)

D = Diameter (m)

- Diameter Inlet Wall

$$D_{in\ wall} = 20\% \times D \quad (2.33)$$

Dengan :

D = Diameter (m)

- Cek Kecepatan Inlet Wall

$$v = \frac{V}{A} \quad (2.34)$$

Dengan :

v = Volume bak (m/s)

Q = Debit air limbah (m³/s)

A = Luas permukaan (m²)

- Cek *Overflow Rate*

$$OFR = \frac{Q}{1/4 \times 3,14 \times (D^2)} \quad (2.35)$$

Dengan :

Q = Debit air limbah (m³/s)

D = Diameter (m)

- Volume Bak

$$v = \frac{1}{4} \pi D^2 \times H \quad (2.36)$$

Dengan :

H = Tinggi bak (m)

D = Diameter bak (m)

- Cek td

$$Cek\ td = \frac{v}{Q} \quad (2.37)$$

Dengan :

Q = Debit air limbah (m³/s)

v = Volume bak (m/s)

- Kecepatan Pengendapan Partikel

$$V_s = \frac{H}{td} \quad (2.38)$$

Dengan :

V_s = Kecepatan pengendapan
partikel (m/s)

H = Tinggi bak (m)

td = Waktu detensi (s)

- Diameter Partikel

$$dp = \frac{\sqrt{v_s \times \mu \times 18}}{g \times (SS - 1)} \quad (2.39)$$

Dengan :

dp = Diameter partikel (m)

V_s = Kecepatan pengendapan
partikel (m/s)

μ = Viskositas absolut air pada
suhu

20°C ($1,0087 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$)
 g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
 SS = *Specific gravity*

- Kecepatan Horizontal

$$V_h = \frac{Q}{2 \pi r H} \quad (2.40)$$

Dengan :

Q = Debit air limbah (m^3/s)
 r = Jari - jari bak (m)
 H = Tinggi bak (m)

- Penggerusan / Kecepatan Scouring (V_{sc})

$$V_{sc} = \left[\left(\frac{18 \times \beta}{f} \right) \times (SS - 1) \times g \times dp \right]^{1/2} \quad (2.41)$$

Dengan :

V_{sc} = Penggerusan / Kecepatan scouring (m/s)
 β = Konstanta kohesi untuk partikel yang saling mengikat
 f = Faktor friksi Darcy-Weisbach antara 0,02 - 0,03
 g = Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
 dp = Diameter partikel (m)

- Cek Nre Partikel

$$N_{Re \text{ partikel}} = \frac{V_s \times dp}{\mu} \quad (2.42)$$

Dengan :

V_s = Kecepatan pengendapan
partikel (m/s)

d_p = Diameter partikel (m)

μ = Viskositas absolut air pada
suhu 20°C ($1,0087 \times 10^{-3}$ Ns/m²)

- Cek Bilangan Reynold

$$N_{Fr} = \frac{V_h \times r}{\mu} \quad (2.43)$$

Dengan :

V_h = Kecepatan horizontal (m/s)

r = Jari - jari bak (m)

μ = Viskositas absolut air pada
suhu

20°C ($1,0087 \times 10^{-3}$ Ns/m²)

- Bilangan Froude

$$N_{Fr} = \frac{V_h}{\sqrt{g \times H}} \quad (2.44)$$

Dengan :

N_{Fr} = Bilangan Froude

V_h = Kecepatan horizontal (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²
)

H = Tinggi bak (m)

2. Zona Inlet

- Luas Penampang Pipa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \quad (2.45)$$

Dengan :

A = Luas penampang pipa (m²)

d = Diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa

$$V_p = \frac{Q}{A} \quad (2.46)$$

Dengan :

V_p = Kecepatan aliran pipa (m/s)

Q = Debit air limbah (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

- *Headloss* Pipa Inlet

$$H_f = \frac{V_p^2 - V_h^2}{2g} \times \frac{1}{c} \quad (2.47)$$

Dengan :

V_p = Kecepatan aliran pipa (m/s)

V_h = Kecepatan horizontal (m/s)

3. Zona Sludge

- TSS yang Teremoval

$$\text{TSS Teremoval} = \% \text{ Removal} \times \text{Kadar TSS} \quad (2.48)$$

Dengan :

% Removal = Removal yang direncanakan

Kadar TSS = Nilai TSS awal (mg/L)

- Berat Lumpur (Ws)

$$W_s = Q \times (\text{TSS teremoval}) \quad (2.49)$$

Dengan :

W_s = Berat Lumpur

Q = Debit (m^3/s)

TSS Teremoval = Kons. TSS

setelah pengolahan

- Berat Air (W_w)

$$\left(\frac{\text{Kadar air dalam lumpur}}{\text{Kadar padatan dalam lumpur}} \right) \times W_s \quad (2.50)$$

Dengan :

Kadar Air Dalam Lumpur (%)

Kadar Padatan Dalam Lumpur (%)

W_s = Berat Lumpur (kg/hari)

- Berat Jenis Lumpur (ρ_s)

$$(\text{Massa jenis pasir} \times 5\%) + (\text{Massa Jenis Air} \times 95\%) \quad (2.51)$$

Dengan :

Massa jenis pasir = kg/m^3

Massa jenis air = kg/m^3

- Dimensi Zona Lumpur

Menggunakan Rumus Limas

Terpancung (2.52)

a. Luas Permukaan Atas Zona Lumpur (A_1)

b. Luas Permukaan Dasar Zona Lumpur (A_2)

c. Volume Limas Terpancung

$$\frac{1}{3} \times H \times ((A1 + A2) + (\sqrt{A1 + A2}))$$

- Dimensi Pipa Penguras

- Debit Pengurasan (Q_p) (2.53)

$$\frac{V \text{ lumpur}}{Waktu \text{ Pengurasan}}$$

- Luas Permukaan Pipa (A)

$$\frac{Debit \text{ Pengurasan}}{Kecepatan \text{ Pengurasan}}$$

- Diameter Pipa Penguras (D)

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

Dengan :

A = Luas Permukaan Pipa (m²)

4. Zona Pelimpah

- Debit tiap pelimpah (Q weir)

$$\frac{Debit \text{ air baku}}{Jumlah \text{ pelimpah}} \quad (2.54)$$

Dengan :

Q = Debit Air Baku (m³/s)

n = Jumlah Pelimpah

- Panjang Total Weir (Lw)

$$\frac{Q_{weir}}{WRL} \quad (2.55)$$

Dengan :

Q_{weir} = Debit Tiap Pelimpah (m³/s)

WRL = Weir Loading Rate

- Panjang Pelimpah (L)

$$\frac{L_w}{\text{Jumlah Pelimpah}} \quad (2.56)$$

Dengan :

L_w = Panjang Pelimpah (m)

n = Jumlah Pelimpah

- Luas Saluran Gutter (A)

$$\frac{Q_{Weir}}{v} \quad (2.57)$$

Dengan :

Q_{weir} = Debit tiap pelimpah (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

- Ketinggian Air Pada Pelimpah (H Air)

$$\left(\frac{Q_{Weir}}{1.38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{2/3} \quad (2.58)$$

Dengan :

Q_{weir} = Debit tiap pelimpah (m³/s)

- Tinggi Gutter (H Gutter)

$$H \text{ Air} + (H \text{ Air} \times 20\%) \quad (2.59)$$

- Jari - Jari Hidrolis Gutter (R Gutter)

$$\frac{h \text{ air} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h \text{ air}) + \text{lebar gutter}} \quad (2.60)$$

- Luas Basah Gutter (A Gutter)

$$\text{Lebar gutter} \times h \text{ air} \quad (2.61)$$

- Slope Gutter (S)

$$\left(\frac{Q \text{ Gutter} \times n}{A \text{ Gutter} \times (R \text{ Gutter})^{2/3}} \right)^2 \quad (2.62)$$

- Headloss pada Gutter (Hf)

$$L \text{ Gutter} \times S \text{ Gutter} \quad (2.63)$$

- Jumlah V Notch (n)

$$\frac{\text{panjang weir}}{\text{jarak antar } v \text{ notch} + \text{lebar } v \text{ notch}} \quad (2.64)$$

- Debit Mengalir Tiap V Notch (Q Notch)

$$\frac{Q}{\text{Jumlah } V \text{ Notch}} \quad (2.65)$$

- Tinggi Peluapan Melalui V Notch (H)

$$\frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2} \quad (2.66)$$

5. Zona Outlet

- Debit Tiap Unit (Q bak)

$$\frac{\text{Debit air baku}}{\text{Jumlah unit}} \quad (2.67)$$

- Volume Saluran Pengumpul (V)

$$\text{Debit } (Q_{\text{bak}}) \times \text{Waktu Detensi} \quad (2.68)$$

(Td)

- Dimensi Saluran

$$L \times W \times H \quad (2.69)$$

- Jari - jari Hidrolis (R)

$$\frac{L \times H}{L \times (2+H)} \quad (2.70)$$

- Luas Penampang Pipa (A)

$$\frac{\text{Debit air } (Q)}{\text{Kecepatan aliran } (v)} \quad (2.71)$$

- Diameter Pipa (D)

$$\sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (2.72)$$

- Cek Kecepatan (V cek)

$$\frac{\text{Debit air } (Q)}{\text{Luas penampang pipa } (A)} \quad (2.73)$$

- Debit Keluar (Q_{out})

$$V \text{ cek} \times \text{Luas Penampang Pipa} \quad (2.74)$$

2.1.3 Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Pengolahan biologis yang bertujuan untuk memisahkan bahan organik dan padatan tersuspensi yang dapat terdegradasi secara biologis. Pengolahan tahap ini memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk memisahkan kontaminan - kontaminan dalam air limbah. Target utama pengolahan ini adalah penurunan kandungan organik (biasanya diukur dalam BOD atau COD, padatan tersuspensi dan mikroorganisme patogen).

a. *Activated Sludge*

Pengolahan limbah cair industri secara biologis dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan adalah jenis dan jumlah mikroba yang terdapat di dalam reaktor biologis. Metcalf dan Eddy

(1983) juga menyatakan protozoa dan bakteri mempunyai peran sangat besar pada pendegradasian zat-zat organik limbah cair secara biologis. Selanjutnya Persoone dan Pauw (1986) menyatakan bakteri adalah merupakan kelompok terkecil dari mikroorganisme yang mengurai pertama kali zat organik dalam air limbah guna pertumbuhan dan perbanyakan selnya.

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.

Prinsip kerja dari proses activated sludge terutama melibatkan interaksi antara mikroorganisme yang hidup dalam lumpur aktif dengan bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Proses ini dilakukan di dalam tangki aerasi, di mana air limbah bersirkulasi dan udara atau oksigen disuplai ke dalam air limbah. Lingkungan ini memungkinkan mikroorganisme dalam lumpur aktif untuk melakukan proses penguraian secara aerobik, menggunakan oksigen sebagai bagian dari proses metabolik mereka. Mikroorganisme dalam lumpur aktif, terutama bakteri aerobik, menggunakan bahan organik dalam air limbah sebagai sumber makanan mereka. Mereka mengonsumsi bahan organik yang ada dalam air limbah, mengoksidasi materi organik ini menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti air, karbon dioksida, dan senyawa-senyawa yang kurang kompleks. Bakteri memiliki peran krusial dalam proses ini karena kemampuannya untuk mengurai senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Bakteri aerob membutuhkan oksigen untuk melakukan proses degradasi senyawa organik. Bakteri ini biasanya digunakan dalam sistem pengolahan seperti activated sludge (lumpur aktif) atau biofilter. Contoh bakteri yang umum digunakan adalah Bakteri *Pseudomonas sp*, Bakteri *Bacillus sp* dan Bakteri *Nitrosomonas sp*.

Modifikasi proses pada lumpur aktif sistem dapat dilakukan dengan :

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

Tipe-tipe hasil modifikasi dan apa yang membedakannya, adalah sebagai berikut :

1. Konvensional

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

2. Non konvensional

- Step Aeration Merupakan tipe plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik di tangki aerasi dengan maksud untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.
- Tapered Aeration Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.
- Contact Stabilization Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu:
 1. Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
 2. Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorpsi (proses stabilisasi).
- Pure Oxygen Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan resirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat 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.

Kriteria Perencanaan

1. Umur Lumpur = 5 - 15 hari
2. Rasio F/M = 0,2 - 0,4 kg BOD/kg MLSS . hari
3. Volumetric Loading = 0,6 - 1 kg BOD/m³/hari
4. MLSS (X) = 2000 - 3500 mg/L
(*Sumber : Metcalf, & Eddy, 1979. Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 484 – 485*)
5. Waktu Detensi (HRT) = 3 - 5 jam
6. Rasio Resirkulasi = 0,25 - 0,75
7. Nilai Koefisien
 - Rata - rata Penggunaan Substrat = 2 - 10/hari
 - Konsentrasi Substrat = 25 - 100 mg/L . BOD
 - Koefisien Endogenous (Ke) = 0,025 - 0,07075/hari
 - Yield Coefficient (Y) = 0,4 - 0,8 mg MLVSS/mg BOD
 - Suhu Correction Coefficient (θ) = 1,03 - 1,09
8. Kedalaman Bak (H) = 3,4 - 5 m
9. MLVSS (X_v) = 60 - 75% MLSS
(*Sumber : Reynolds & Richards, 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 450 – 459*)
10. Suhu Air Buangan 26°C Sehingga,
 - Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$

- Absolute Viscosity (μ) = $8,746 \times 10^{-4}$ N.s./m²
- Massa Jenis (ρ) = $0,99681$ g/cm³
= $996,81$ kg/m³

(Sumber: Appendix. C. Reynolds & Richards, 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)

- 11. Freeboard (Fb) = 10% - 20%
- 12. Safety Factor = 2
- 13. Return Sludge Ratio = 0,7 - 1,2
- 14. SS in Return Sludge = 8000 - 12000 mg/L

(Sumber : Von Sperling, 2007. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. In Water Intelligence Online Vol. 6, Issue 0. Halaman 36)

- 15. VSS/SS Ratio = 0,7 - 0,85

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

- 16. Ketinggian Bak Aerasi = 3 - 5,6 m

(Sumber : Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 687)

- 17. Biodegradable Fraction of VSS (fb) = 0,55 - 0,77

- 18. Effluent Soluble BOD = 5 - 20 mg/L

(Sumber : Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 69)

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

- Removal Polutan

$$BOD_{effluent} = BOD_{Influent} - (\% Removal \times BOD_{Influent}) \quad (2.75)$$

$$COD_{effluent} = COD_{Influent} - (\% Removal \times COD_{Influent})$$

Dengan :

$BOD_{Influent}$ = BOD yang masuk (mg/L)

$COD_{Influent}$ = COD yang masuk (mg/L)

%Removal = Kemampuan meremoval unit

- Rasio Resirkulasi

$$\frac{MLSS \text{ Activated Sludge}}{X_r - MLSS \text{ Activated Sludge}} \quad (2.76)$$

Dengan :

MLSS Activated Sludge = Konsentrasi MLSS Pada As

X_r = Konsentrasi lumpur

resirkulasi

- Debit Resirkulasi (Q_r)

$$\text{Debit Influent } (Q_{in}) \times R \quad (2.77)$$

Dengan :

Q_{in} = Debit masuk (m^3/s)

R = Rasio Resirkulasi

- Debit yang Masuk ke Dalam Bak Activated Sludge (Q_a)

$$\text{Debit Influent } (Q_{in}) + \text{Debit Resirkulasi } (R) \quad (2.78)$$

Dengan :

Q_{in} = Debit masuk (m^3/s)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

- Konsentrasi BOD dalam Activated Sludge (C_a)

$$\frac{(BOD_{Influent} \times \text{Debit influent}) + (\text{Debit resirkulasi} \times BOD_5 \text{ effluent})}{(\text{Debit influent} + \text{Debit resirkulasi})} \quad (2.79)$$

Dengan :

$BOD_{Influent}$ = BOD yang masuk (mg/L)

- Volume Bak Activated Sludge (V)

$$\frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_o - S)}{X_v \cdot (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)} \quad (2.80)$$

Dengan :

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD removed)

θ_c = Umur Lumpur (hari)

Q = Debit awal (m³/s)

S_o = Konsentrasi BOD Awal (mg/L)

S = BOD yang teremoval (mg/L)

X_v = MLVSS (mg/L)

f_b = Biodegradable Fraction of VSS

K_d = Endogenous Respiration Coefficient

- F/M Ratio

$$\frac{Qa \times Ca}{V \times X_v} \quad (2.81)$$

Dengan :

Qa = Debit Total yang Masuk (m³/s)

X_v = Konsentrasi MLVSS (mg/L)

- Kebutuhan Oksigen Total

$$\frac{1,46 \times Qa \times (BOD_{5 \text{ influent}} - BOD_5 \text{ effluent})}{10^3} \quad (2.82)$$

Dengan :

Qa = Debit Total yang Masuk (m³/s)

$BOD_{Influent}$ = BOD yang masuk (mg/L)

$BOD_{Effluent}$ = BOD yang masuk (mg/L)

2.1.4 Pengolahan Ketiga (*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. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Langkah ini merupakan langkah akhir untuk menghasilkan effluent yang stabil dengan konsentrasi BOD dan SS yang rendah. Dengan adanya volume yang besar dari solid yang flokulen dalam MLSS, maka diperlukan pertimbangan khusus untuk mendesain bak pengendap II.

a. Bak Pengendap II (*Clarifier*)

Bangunan clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif dari *Mixed - Liquor Suspended Solids* (MLSS). Lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke Activated Sludge (tangki aerasi) dengan tujuan agar konsentrasi mikroorganisme dalam activated sludge dapat dipertahankan pada tingkat optimal serta membantu menjaga proses pengolahan terutama dalam menghadapi fluktuasi beban influent dan sludge yang mengandung mikroorganisme yang sudah mati atau tidak aktif lagi dialirkan ke pengolahan lumpur.

Secondary clarifier ini merupakan rangkaian proses dari Activated Sludge yang operasinya merupakan sistem *continuous mixed flow*. Sedangkan untuk menentukan besar lumpur yang diresirkulasi ke dalam bak aerasi, maka dilakukan control dengan suatu pengukuran dalam bak pengendap yang disebut *sludge volume index* (SVI). Indeks ini didefinisikan sebagai volume lumpur dalam ml yang terendapkan dari satu gram MLSS setelah diendapkan selama 30 menit dalam 1000 ml. SVI umumnya berada dalam range 50-150 ml/gram yang mengidentifikasi pengendapan lumpurnya berjalan dengan baik.

Kriteria Perencanaan

- Zona Pengendapan (Settling Zone)

1. Over Flow Rate (OFR)

- Average = 30 - 50 m³/m² . hari

- Peak = 70 - 130 m³/m² . hari

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

2. Waktu Tinggal (td) = 0,6 - 3,6 jam

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

3. Diameter (D) = 30 - 60 m

4. Kedalaman (H) = 3 - 6 m

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

5. Fight Speed = 0,02 - 0,05 m/menit

(Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 398)

6. %Removal TSS = 50 - 70 %

(Sumber : Huisman, 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12)

7. Weir Loading Rate = 125 - 500 m³/m² . hari

(Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)

8. Diameter Inlet Wall = 15% - 20% Diameter Bak

9. Ketinggian Inlet Wall = 0,5 - 0,7 m

10. Kecepatan Inlet Wall = 0,3 - 0,75 m/s

(Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)

11. Bilangan Reynold untuk V_s = < 1 (Laminer)
12. Bilangan Froude untuk V_h = < 2000 (Laminer)

(Sumber : SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

13. *Specific Gravity Suspended Solid* = 1,3 - 1,5

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical Engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)

14. Slope ke Arah Zona Sludge = 40 - 100 m/m

(Sumber : Qasim, 1985. Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)

15. Konsentrasi Solid = 4% - 12%

16. Cek N_{Re} Partikel = < 0,5

17. Syarat Terjadinya Pengendapan ($T_p < T_d$)

18. Syarat Terjadinya Penggerusan ($V_{sc} > V_h$)

- Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Absolute Viscosity (μ) = $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
- Massa Jenis (ρ) = $0,99681 \text{ g/cm}^3$
= $996,81 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Appendix. C. Reynolds & Richards, 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)

19. Koefisien Manning (n) = 0,012 - 0,016

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

20. Kontrol Penggerusan

- Faktor Kisi Porositas (β) = 0,05
- Faktor Fraksi Hidrolis (λ) = 0,03

(Sumber : Huisman, 1977. *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 57*)

- Zona Lumpur (Sludge Zone)

1. Volatile Solid = 60% - 90%
2. Dry Solid = 3% - 8%

(Sumber : Qasim, 1985. *Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428*)

3. *Specific Gravity Suspended Solid* = 1,3 - 1,5

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical Engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411*)

4. Massa Jenis (ρ) = 0,99681 g/cm³
= 996,81 kg/m³

(Sumber: Appendix. C. Reynolds & Richards, 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762*)

2.1.5 Pengolahan Lumpur (*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 di komposisi dari bahan - bahan yang responsible untuk menimbulkan bau.
- b. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis di komposisi dari bahan organik.

c. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

a. *Sludge Drying Bed*

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

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Proses pengeringan dan laju pengeringan dapat dipengaruhi oleh faktor suhu, kelembaban relatif, kadar air lumpur, pembentukan kerak, kecepatan udara, dan adanya zat kimia (Danish dkk., 2016). Proses pengeringan lumpur sendiri menghadapi masalah penyediaan tempat pengeringan, pemanfaatan lumpur aktif yang telah dikeringkan dan ketergantungan pada faktor sinar matahari.

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

Kriteria Perencanaan

1. Waktu Pengeringan = 5 -15 hari

- | | |
|---|--|
| 2. Tebal Sludge Cake | = 20 - 30 cm |
| 3. Tebal Pasir | = 23 - 30 cm |
| 4. Lebar | = 2,5 - 6 m |
| 5. Panjang | = 6 - 30 m |
| 6. Slope | = 1% |
| 7. Kecepatan Aliran Pipa (v) | = > 0,75 m/s |
| 8. Berat Air dalam Cake | = 60% - 70% |
| 9. Kadar Air | = 60% - 80% |
| 10. Kadar Solid | = 20% - 40% |
| 11. Sludge Loading Rate | = 120 - 150 kg/ solid
kering/m ² . tahun |
| (Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572) | |
| 12. W : L | = 1 : 4 |
| (Sumber : SNI 7510 – 2011) | |

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut :

- Volume Cake Sludge

$$V_i = \frac{\text{Vol. lumpur} \times (1 - P)}{1 - P_i} \quad (2.83)$$

Dengan :

V_i = Volume cake sludge (m³)

Vol. Lumpur = Volume lumpur total (m³)

P = Kadar air (%)

P_i = Berat air dalam cake (%)

- Volume Sludge Drying Bed

$$V = V_i \times t_d \quad (2.84)$$

Dengan :

V_i = Volume cake sludge (m³)

t_d = Waktu detensi (hari)

- Volume Tiap Bed

$$Vb = \frac{V}{\text{Jumlah bed}} \quad (2.85)$$

Dengan :

Vb = Volume tiap bed (m^3)

V = Volume sludge drying bed (m^3)

Jumlah Bed = Banyak bed yang direncanakan

- Kedalaman Total

$$H_{total} = H + fb \quad (2.86)$$

Dengan :

H_{total} = Kedalaman total sludge drying bed (m)

H = Kedalaman sludge drying bed (m)

fb = Freeboard (10% - 30% H)

- Volume Air

$$Va = \frac{Vi - \text{Volume solid}}{\text{Jumlah bed}} \times td \quad (2.87)$$

Dengan :

Va = Volume air (m^3)

Vi = Volume cake sludge (m^3 /hari)

Vol. Solid = Volume solid total (m^3)

Jumlah Bed = Banyak bed yang direncanakan

td = Waktu detensi (hari)

- Kedalaman Underdrain

$$H_{ud} = \frac{Va}{A} \quad (2.88)$$

Dengan :

H_{ud} = Kedalaman underdrain (m)

Va = Volume air (m^3)

A = Luas penampang (m^2)

2.3 Persen Removal

Proses pengolahan air buangan ini bertujuan untuk menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektif suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Setiap bangunan memiliki kemampuan menurunkan beban pencemar yang berbeda-beda. Berdasarkan literatur yang telah kami kumpulkan, berikut ini persen removal dari setiap unit pengolahan air buangan untuk semua parameter yang ada di dalamnya :

Tabel 2.6 Persen Removal Unit

Unit	Parameter Teremoval	% Removal	Sumber
Pre - Treatment			
Saluran Pembawa	-	-	-
Bak Penampung	-	-	-
Primary Treatment			
Koagulasi - Flokulasi	-	-	-
Sedimentasi	BOD	50% - 80%	<i>Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, Halaman 479</i>
	TSS	80% - 90%	<i>Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth</i>

Unit	Parameter Teremoval	% Removal	Sumber
			<i>Edition, Halaman 479</i>
Secondary Treatment			
Activated Sludge	BOD	80% - 99%	<i>Cavaseno, 1987. Industrial Wastewater And Solid Waste Engineering. McGraw-Hill, Inc. Halaman 15</i>
	COD	50% - 95%	
Tertiary Treatment			
Clarifier	TSS	60% - 80%	<i>Huisman, 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12</i>
Sludge Treatment			
Sludge Drying Bed	-	-	-

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen efluen) 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 perlu diperhatikan adalah

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

Kehilangan tekanan akan dapat mempengaruhi ketinggian muka air dalam bangunan pengolahan

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris berhubungan dengan pengolahan yaitu

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

3. Tinggi muka air

Tinggi muka air dapat mempengaruhi proses pengolahan sehingga Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) juga akan berpengaruh

2.5 BOQ dan RAB

BOQ (*Bill of Quantity*) adalah perincian jumlah dari seluruh peralatan dan pekerjaan yang dibutuhkan di dalam perencanaan, sedangkan RAB (Rencana Anggaran Biaya) adalah biaya yang diperlukan dalam pengadaan peralatan dan biaya pembayaran tenaga kerja. RAB adalah rencana pengeluaran biaya (uang) terhadap suatu usaha, pekerjaan atau proyek yang disusun secara terperinci. Rencana anggaran biaya merupakan pedoman dalam mengeluarkan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan yang dilakukan yang tertera dalam anggaran tersebut. Tujuan dari pembuatan BOQ dan RAB adalah sebagai perhitungan awal untuk mengetahui dan memperkirakan jumlah biaya yang harus dipersiapkan (Kustamar, 2020) .

Pada *Bill of Quantity* terdapat beberapa kolom yang memiliki fungsi dan peranan masing-masing. Kolom-kolom tersebut adalah kolom nomor, uraian,

volume, unit, harga satuan, dan jumlah. Kolom nomor menunjukkan kode atau nomor urut tiap kelompok pekerjaan konstruksi. Pemberian kode ini bertujuan untuk mempermudah estimator maupun pihak pengguna yang lain dalam melakukan pencarian dan pengecekan terhadap pengukuran yang telah dilakukan. Kolom uraian berisi tentang penjelasan mengenai jenis pekerjaan. Kolom uraian harus dapat memberikan informasi yang jelas, agar memudahkan estimator dalam melakukan pengecekan, pengeditan, dan perbaikan.