

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Air Limbah Industri Tepung Tapioka

Industri tepung tapioka menggunakan bahan baku singkong atau ubi yang mana di Indonesia didapatkan sehingga banyak industri yang bermunculan. Tepung tapioka juga dibutuhkan untuk berbagai industri seperti industri kertas, industri makanan, industri kayu lapis, industri makanan ternak, industri farmasi, industri tekstil, industri perekat dan lain sebagainya (Amilia, 2017). Namun limbah yang dihasilkan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah industri ini berasal dari pencucian, sisa ekstraksi pati dan pengendapan pati (Wijayanto et al., 2017).

Industri tepung tapioka menghasilkan limbah dengan kandungan organik tersuspensi dan senyawa anorganik berbahaya seperti karbohidrat, protein, lemak yang mudah diuraikan dan yang menimbulkan bau seperti sianida (Aulia, 2021). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka adalah sebagai berikut:

2.1.1. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebagai salah satu parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan. Analisa BOD pada perairan dapat meminimalisir jumlah toksik apabila nilainya telah diketahui dan dilakukan pengolahan secara biologis. (Daroini & Arisandi, 2020).

Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD adalah jumlah senyawa organik yang diuraikan, tersedianya mikroorganisme aerob, dan tersedianya jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses penguraian tersebut. Oksidasi biokimia adalah proses yang lambat. Dalam waktu 20

hari, oksidasi bahan organik karbon mencapai 95–99% dan dalam waktu 5 hari sekitar 60–70% bahan organik telah terdekomposisi (Metcalf & Eddy, 1991).

Pada industri tepung tapioka BOD yang dihasilkan adalah 375 mg/L, dari batas baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka adalah 450 mg/L. Oleh karena itu perlu adanya pengolahan sebelum di buang agar tidak mencemari lingkungan.

2.1.2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi. Nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses biologis dan berdampak negatif sehingga mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Nilai konsentrasi COD pada umumnya lebih besar dari BOD (Sugito, 2017). Menurut Lumaela dkk (2013), Apabila tingkat pencemaran air/ COD (chemical oxygen demand) perairan relatif tinggi, terdapat kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen akan tinggi karena COD menunjukkan kadar bahan organik yang bersifat non biodegradable. (Sumantri & Rahmani, 2020).

Berdasarkan parameter pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 memiliki baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka sebesar 300 mg/L. Sedangkan karakteristik air limbah yang dihasilkan adalah 800 mg/L.

2.1.3. TSS (*Total Suspended Solid*)

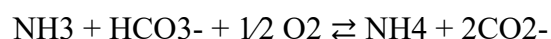
Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi merupakan partikel tersuspensi berdiameter $>1 \mu\text{m}$, yang tertahan di saringan mili pore dengan diameter pori-pori $0,45 \mu\text{m}$ yang terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad renik yang mengambang di air. Penyebabnya karena pengikisan atau erosi tanah yang terbawa ke badan air yang berasal dari limpasan air hujan atau erosi tanah (Nurfatihmah dkk.,

2019; Wisna & Ondara, 2017). Total Suspended Solid menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap (Maulana et al. 2015). TSS sering digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kualitas air di suatu perairan, hal tersebut dilakukan karena nilai TSS yang tinggi menunjukkan tingginya tingkat pencemaran perairan.

Tingginya konsentrasi TSS dapat menghambat penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air sehingga menyebabkan rendahnya nilai produktivitas suatu perairan. Konsentrasi TSS yang tinggi berkaitan dengan adanya aktivitas manusia sehingga perairan tersebut teraduk dengan substrat berlumpur. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka kandungan TSS yang diperbolehkan adalah sebesar 100 mg/L. Sedangkan industri tepung tapioka memiliki kandungan melebihi baku mutu yaitu sebesar 850 mg/L.

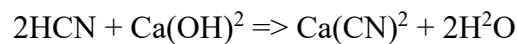
2.1.4. Sianida (HCN)

Kandungan Sianida dalam limbah industri tepung tapioka berasal dari bahan baku pembuatan tepung yaitu singkong. Sianida bersifat beracun atau toxic pada kondisi berikatan dalam rantai sianogenik glikosida yang mengandung glukosa, aseton, dan HCN (Damayanti et al., 2021). Sianida dalam limbah tepung tapioka ditemukan dalam kondisi bebas yaitu HCN. 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. Mikroorganisme tertentu dapat mengoksidasi HCN dan dihasilkan gas amonia dan karbondioksida pada persamaan berikut ini (Noor Kumalasari, 2005).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam

kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika 6 tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016). Berikut ini adalah reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2).



Industri tepung tapioka pada perencanaan memiliki kandungan sebesar 2 mg/L. Kandungan tersebut melebihi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka yang sebesar 0,3 mg/L.

2.1.5. pH (Derajat Keasaman)

Derajat keasaman digunakan sebagai indikator pencemaran suatu perairan. Derajat keasaman ini digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan suatu zat, larutan, atau benda. Nilai pH normal adalah 7, sedangkan jika nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat atau larutan tersebut memiliki sifat basa dan jika nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan zat atau larutan tersebut memiliki sifat asam. Nilai pH 0 menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi dan pH 14 menunjukkan tingkat kebasaan yang tinggi.

Pada umumnya, ikan yang hidup di perairan air tawar pH nya berkisar 6,5-8,4. (Asdak, 1995). Menurut Faisal (2015), hasil penelitiannya menunjukkan pH berkisar 7,9-8,0 masih dalam kisaran normal pada suatu perairan. Pada rentang pH 6-9 terdapat kehidupan mikroorganisme, sedangkan pada pH ekstrim asam atau basa mikroorganisme tersebut tidak dapat hidup. Oleh karena itu pada pengolahan air limbah pH ekstrim sulit untuk dilakukan pengolahan biologis, sehingga dilakukan penetralan pH (Metcalf & Eddy, 2003).

Industri tepung tapioka memiliki pH sebesar 5 yang tergolong asam. Pada baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri Tapioka besar pH yang diperbolehkan untuk dibuang ke

lingkungan adalah sebesar 6-9. Jadi diperlukan penetralan pH pada limbah industri tepung tapioka yang dihasilkan.

2.2. Bangunan Pengolahan Air Buangan

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

- a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)
- b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)
- c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)
- d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

2.2.1. Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Pengolahan pendahuluan merupakan tahap awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan berikutnya. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) diantaranya adalah *intake & screening/shredding, grit removal, flow equalization*, pra-sedimentasi, dan *quality equalization*.

a. Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika

saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (slope) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). 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. 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 seperti halnya saluran terbuka.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran (v) = 0,3-2,4m/s
- Kemiringan (slope) maksimal = 1,10-3m/m
- Freeboard saluran = 5-30%
- Dimensi saluran direncanakan (Ws) = $B = 2H$
- Kekasaran saluran (n) = 0,011-0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2. 1. Koefisien n Manning Untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	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)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

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

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

- Kedalaman Saluran (H)

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

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

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

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), *freeboard* = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Keterangan:

n = Koefisien manning

R = Jari-jari hidraulik

S = Slope (Kemiringan dasar saluran)

- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (Td)

$$T_d = \frac{Q \text{ total saluran}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m) B = lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 19)

- Slope Saluran (Rumus Manning)

$$S = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{2/3}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

n = koefisien manning saluran (m/m)

R = jari – jari hidrolis (m)

A = luas permukaan saluran

- Headloss Saluran Pembawa

Hf = Slope x L saluran Keterangan:

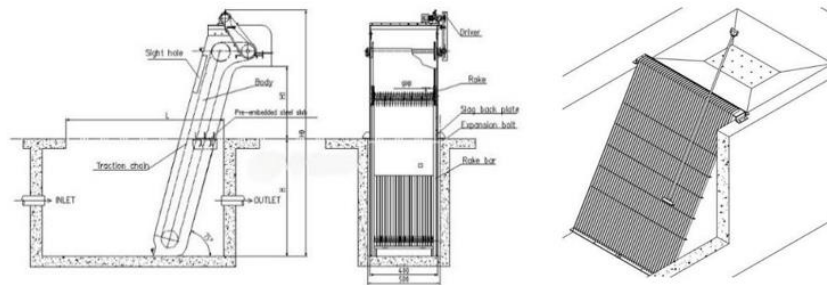
Hf = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

b. Screening

Screening atau biasa disebut dengan *bar screen* digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk

menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5-1,0cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang *screen* untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama *screening* adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari *bar screen* adalah *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis *bar screen* yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2. 1. Unit *Bar Screen* Mekanik dan Manual

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Umumnya unit *bar screen* dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. *Bar screen* dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *screen* dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik *coarse screen* maupun *fine screen* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2. Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75
Parameter Lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat°)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0m/s
Headloss (max)	6 in	5-24in	150mm	150-600mm

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004

Halaman 315-316)

Tabel 2. 3. Persen *Removal* Saringan Halus

Jenis screen	Luas permukaan		Persen <i>removal</i>	
	In	Mm	BOD (%)	TSS(%)
<i>Fixed parabolic</i>	0,0625	1,6	5 – 20	5 – 30
<i>Rotary drum</i>	0,01	0,25	25 – 50	25 – 45

Tabel 2. 4. Klasifikasi *Fine Screen*

Jenis <i>Screen</i>	Permukaan <i>Screen</i>		Bahan <i>Screen</i>	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In			Mm
Miring (Diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i> Pengolahan Primer	
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i> . Pengolahan Pendahuluan	

	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless-steel</i> .	Pengolahan Primer
	Halus		6 -35 μ m	<i>Stainless-steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan <i>Stainless-steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangensial	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i> .	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004

Halaman 322-323)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi *bar screen*

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{Saluran}} + (fb \times H_{\text{Saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan *screen* (wc)

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

w_c = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

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

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{w_c x h}$$

Keterangan

Q = debit inlet air limbah

w_c = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- Headloss pada *Bar Screen* saat *non-clogging*

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

C merupakan koefisien pada saat *non-clogging* yaitu 0,7

- Headloss pada saat *clogging*

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

C_c merupakan koefisien pada saat *clogging* yaitu 0,6

c. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi 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).

Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

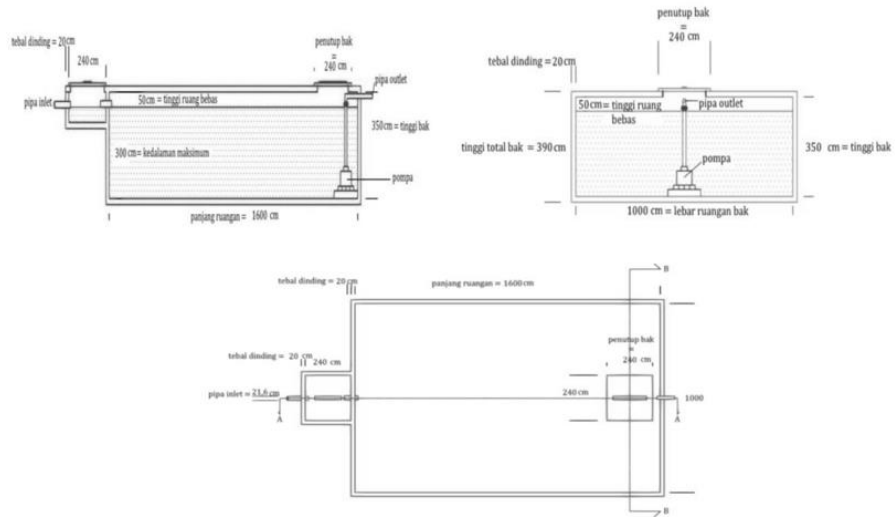
- i) pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan;
- ii) kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- iii) 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);
- iv) dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

- i) memerlukan area/lokasi yang cukup luas;

- ii) mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal;
- iii) memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat

(Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 2. 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):

- i) Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- ii) *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.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

Tabel 2. 5. Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	h_{min}	1,5-2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
2	Ambang batas (<i>free board</i>)	h_{fb}	5-30	%	
3	Laju pemompaan udara (aerasi)	Qudara	0,01-0,015	m^3/m^3 -menit	
4	Kemiringan dasar tangki	Slope	40-100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
5	Waktu Tinggal	T_d	1-2	jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung antara lain:

- Waktu Tinggal (T_d)

$$T_d = V \times Q \text{ Keterangan:}$$

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

$$Q = \text{debit air limbah yang dipompa (m}^3\text{/detik)}$$

- Kecepatan Aliran (V)

$$V = A \times H$$

Keterangan:

$$A = \text{luas permukaan bak pengumpul (m}^2\text{)}$$

$$H = \text{kedalaman air (m)}$$

- Dimensi Bak Penampung

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan:

V = volume bak (m^3)

P = panjang bak (m), dengan $2 \times L$

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

• Kedalaman Total (H_{Total})

$$H_{Total} = H + (fb \times H)$$

Keterangan:

Fb = freeboard

• Jari-Jari Hidrolis

$$R = \frac{W \times H}{W \times 2H}$$

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

• Pipa Inlet Pompa

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

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

d = diameter pipa

V = volume bak

• Pipa Outlet Pompa

i. Luas penampang pipa pompa

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

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

ii. kecepatan aliran dalam pipa pompa outlet

$$V = Q/A$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

• Headloss

i. Headloss Mayo (Hf Mayor)

$$Hf Mayor = \frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,82}} \times L$$

ii. Headloss Minor (Hf Minor)

$$Hf Minor = k1 \times \frac{v^2}{2g} + (n \times k2 \times \frac{v^2}{2g})$$

iii. Headloss Total = Ha + Hf mayor + Hf minor

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading *rate*. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2. 6. Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none"> • Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effluent
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	Screw	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	<ul style="list-style-type: none"> • Permasalahan zat kimia limbah logam • Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)

	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	<i>Pneumatic Ejector</i>	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, *Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes*, Halaman 6-43)

2.2.2. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Tujuan dari pengolahan primer adalah untuk menghilangkan partikel-partikel padat organik dan anorganik melalui proses fisika, yaitu sedimentasi atau flotasi. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (*sludge*) sedangkan minyak dan lemak akan berada di atas permukaan (*grease*). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah sedimentasi primer dan flotasi.

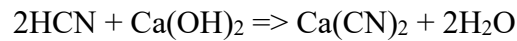
a. Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5-9. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO_2 dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Terdapat beberapa cara menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

- i) Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
- ii) Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- iii) Penambahan NaOH , Na_2CO_3 , atau NH_4OH ke limbah asam
- iv) Penambahan asam kuat (H_2SO_4 , HCl) ke dalam limbah basa
- v) Pembangkitan CO_2 dalam limbah basa

Pada limbah cair tepung tapioka terdapat kandungan sianida dalam bentuk HCN yang berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Alternatif

pengolahan sianida dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Netralisasi. Adanya HCN pada air limbah membuat air menjadi asam, sehingga perlu penambahan basa untuk penetralan pH dan pengolahan sianida. Pada jurnal digunakan Ca(OH)_2 , dengan reaksi sebagai berikut (Jeklin, 2016).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah disbanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016).

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit netralisasi:

A. Bak Pembubuh

- Dosis Ca(OH)_2

$$\text{Dosis} = \frac{q \text{ (mg)}}{V \text{ air (L)}} \times \frac{1}{BM \text{ (g/g.mol)}} \times \frac{1}{1000 \text{ (mg/g)}}$$

- Kebutuhan Ca(OH)_2

$$\text{Ca(OH)}_2 = \text{Dosis Ca(OH)}_2 \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \times N_1 = Q_2 \times N_2$$

- Volume total

$$V_{\text{Total}} = Q_{\text{Total}} \times Td$$

Keterangan:

Q = debit air

Td = waktu detensi

- Dimensi tangki

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Diameter impeller

$$D_i = \left(\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho} \right)^{1/5}$$

- Lebar impeller

$$W_i = 1/10 \times D_i$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

- Cek bilangan reynold (Nre)

$$NRe = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

B. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi

$$V_{\text{Tangki}} = Q \times T_d$$

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{Air}} + V_{\text{Pembubuh}}$$

- Dimensi tangki netralisi

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

$$H_{\text{Total}} = H + \text{Freeboard}$$

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Di

$$\text{Cek Di} = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

D = diameter tangki

- Menghitung ukuran baffle pada tangki

$$\text{Baffle} = 10\% \times D_T$$

- Cek bilangan reynold (Nre)

$$NRe = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

μ = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa outlet

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

- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

A = luas

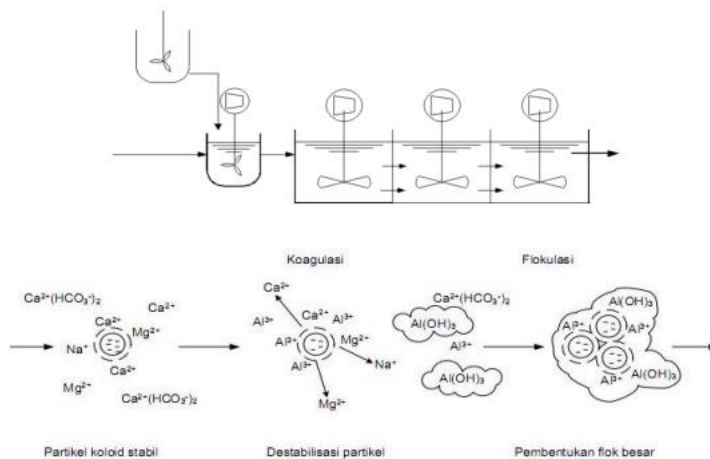
C. Dosing Pump

- Debit dosing pump (Q) = $Q_{\text{pembubuhan}}$

b. 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).

Sebelum inti flok terbentuk, 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 di bawah ini.



Gambar 2. 3. Gambaran Proses Koagulasi-flokulasi

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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, Abdu F. Assomadi. 2012).



Gambar 2. 4. Peralatan Jar Test

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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

- Jenis Pengadukan

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

- Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik⁻¹) selama 5 hingga 60 detik atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- i. Untuk proses koagulasi-flokulasi:

- Waktu detensi = 20-60 detik

- $G = 700-1000/s$

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

- Waktu detensi = 20-60 detik

- $G = 700-1000/s$

- iii. 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. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- i. Untuk air Sungai
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- ii. Untuk air waduk
 - Waktu = 30 menit
 - $G = 10^{-7}$
 - 5 detik^{-1}
- iii. Untuk air keruh
 - Waktu dan G lebih rendah
- iv. Bila menggunakan gram besi sebagai koagulan
 - G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
- v. Untuk flokulator 3 kompartemen
 - G kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3 : nilai terkecil
- vi. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur dan soda)
 - Waktu detensi = minimum 30 menit

- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

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

- Waktu detensi = 15 - 30 menit

- $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$

- $GTd = 10.000 - 100.000$

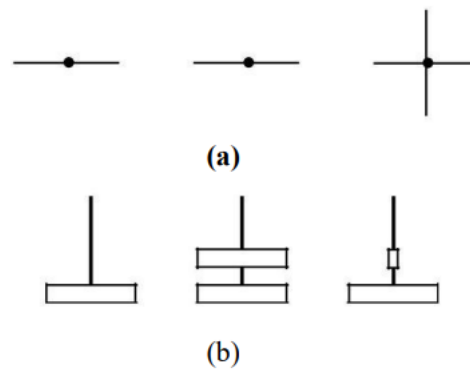
Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

i. Pengadukan mekanis

ii. Pengadukan hidrolis

• Pengadukan Mekanis

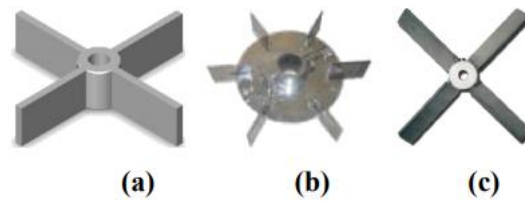
Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling).



Gambar 2. 5. Tipe Paddle

(a) tampak atas, (b) tampak samping

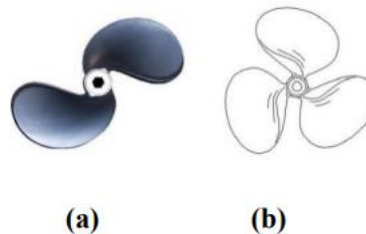
(Sumber : Qasim, S. R. (1985). **Wastewater Treatment Plant: Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.**)



Gambar 2. 6. Tipe Turbine

(a) turbine blade lurus, (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbin dengan blade menyerong

(Sumber: Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)



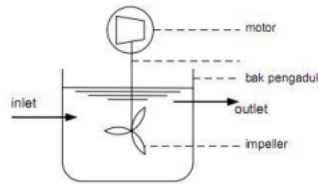
Gambar 2. 7. Tipe Propeller

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

(Sumber: Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant: Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II dan G di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi

hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 8. Pengadukan cepat dengan alat pengaduk
(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

Tabel 2. 7. Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

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

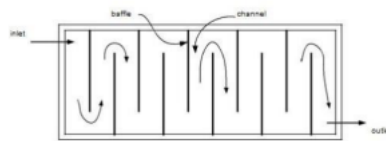
(Sumber: Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. (1996). Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition). Boston: PWS Publishing Company.)

- Pengadukan Hidrolis

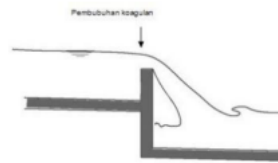
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu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

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

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



Gambar 2. 9. Pengadukan cepat dengan terjunan

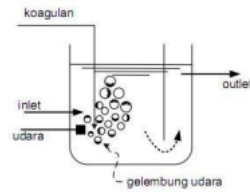


Gambar 2. 10. Baffle Channel

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- Pengadukan Pneumatis

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



Gambar 2. 11. Pengadukan cepat secara pneumatis

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. **Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.**)

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

c. Bak Pengendap I

Unit pengolahan bak pengendap 1 digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut yang ada di dalam cairan menggunakan system gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Efisiensi removal dari unit ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Bak pengendap bentuk rectangular terdiri dari empat zona, yaitu:

- Zona Inlet (*Inlet Zone*)

Zona inlet berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

- Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu :

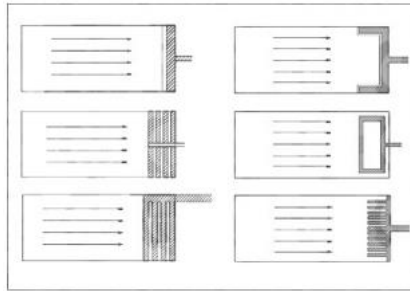
- i. Karakteristik partikel tersuspensi.
- ii. Overflow rate.
- iii. Dan efisiensi Bak.

- **Zona Lumpur (*Sludge Zone*)**

Zona lumpur merupakan zona untuk partikel-partikel deskret yang telah mengendap dan memiliki kemiringan tertentu menuju hopper yang terletak di bawah inlet. Kemiringan pada zona lumpur berfungsi untuk mempermudah saat pembersihan lumpur. Pada bak rengular, kemiringan dasar bak sebesar 1%-2 %. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

- **Zona Outlet (*Outlet Zone*)**

Desain Outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. Weir loading rate adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona Outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona Outlet dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 12. Susunan pelimpah pada zona Outlet bak pengendap
Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak pengendap 1 pada setiap bagiannya.

a. Kriteria Perencanaan

Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Over Flow Rate (OFR)

- Average = 30-50 m³/m².hari
- Peak = 70-130 m³/m².hr

(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6 – 3,6

(Sumber: Tabel 12.2 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

iii. Dimensi

a. Rectangular

- Panjang (L) = 10-100 m
- Lebar (W) = 3-24 m
- Kedalaman (H) = 2,5-5 m
- W : L = 1-7,5 : 1
- L : H = 4,2-25 : 1

b. Circular

- Diameter (D) = 3-60 m
- Kedalaman (H) = 3-6 m

(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

iv. % Removal TSS = 50%-70%

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

v. Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (Aliran Laminer)

vi. Bilangan Freud (NFr) = $>10^{-5}$ (Mencegah Aliran Pendek)

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

vii. 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)

viii. Slope ke arah Zona Slude

- Rectangular = 1%-2%

- Circular = 40-100 m/m

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

ix. Cek NRe Partikel < 0,5

x. Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)

xi. Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)

xii. Suhu air buangan 26 °C, sehingga:

- Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

- 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)

- xii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
(Sumber: (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

- xiv. 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 Inlet (Inlet Zone)

- i. Kecepatan Aliran = 0,3-0,6 m/s
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316)
- ii. Freeboard = 10%-20%
(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159)
- iii. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
(Sumber: (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

Zona Transisi (Transition Zone)

- i. Koef. Manning (n) = 0,012-0,016
(Sumber: (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)
- ii. Suhu air buangan 26 °C, sehingga:
 - Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - 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)**

Zona Lumpur (Sludge Zone)

- i. Volatile Solid = 60%-90%
- ii. Dry Solid = 3%-8%
(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428)
- iii. 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)
- iv. Suhu air buangan 26 °C, sehingga:
 - Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Absolute Viscosity (μ) = $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
 - Massa Jenis (ρ) = $0,99681 \text{ g/cm}^3$

$$= 996,81 \text{ kg/m}^3$$

Zona Outlet (Outlet Zone)

i. Koefisien Grad (Cd) = 0,6

ii. Sudut V Notch = 60°

(Sumber: Qasim, dkk., 2000, Water Works Engineering Planning, Design, and Operation)

iii. Weir Loading Rate

- 124 m³/m.hr untuk debit <44 L/s

- 186 m³/m.hr untuk debit >44 L/s

(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 270)

b. Rumus yang Digunakan

Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

ii. Cek Over Flow Rate

$$\text{OFR} = \frac{Q}{L \times W}$$

Keterangan:

Q = debit limbah (m³/s)

L = panjang(m)

W = lebar (m)

OFR = Over Flow Rate (m³/m².hari)

iii. Kecepatan Pengendapan (v_s)

$$v_s = \frac{H}{T_d}$$

Keterangan:

T_d = waktu detensi (s)

V_s = kecepatan pengendapan (m²/s)

H = kedalaman (m)

iv. Kecepatan Horizontal (v_h)

$$v_h = \frac{L}{Td}$$

Keterangan:

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

L = panjang (m)

Td = waktu detensi (s)

v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

vi. Diameter Partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times \vartheta \times 18}{g \times (S_s - 1)}}$$

Keterangan:

D_p = diameter partikel (m)

ρ = kinematic *viscosity* (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V_s = kecepatan pengendapan (m^2/s)

S_s = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

vii. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$NRe \text{ Partikel} = \frac{v_s \times D_p}{\vartheta}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

V_s = kecepatan pengendapan (m^2/s)

D_p = diameter partikel (m)

S_s = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

viii. Cek Bilangan Reynold Zona Pengendapan (Nre)

$$NRe = \frac{v_h \times R}{\vartheta}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynolds

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

ρ = kinematic *viscosity* (m^2/s)

ix. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$NFr = \frac{vh}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

x. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring (v_{sc})

$$v_{sc} = \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (Ss - 1) \times g \times Dp \right]^{1/2}$$

Keterangan:

V_{sc} = Kecepatan *Scouring* (m^2/s)

Ss = *Spesifik Gravity Suspended Solid*

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Dp = diameter partikel (m)

xi. Slope Bak

$$S_{Bak} = 1\% \times L$$

Keterangan:

S_{Bak} = slope bak (m/m)

L = pnajang bak (m)

xii. Kehilangan Tekanan Pada Zona Pengendapan

$$Hf = \left(\frac{vh \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Keterangan:

Hf = kehilangan tekanan pipa (m)

V_h = kecepatan horizontal (m^2/s)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari-jari hidrolis (m)

L = panjang bak (m)

Zona Inlet (Inlet Zona)

- i. Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m²)

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

- ii. Volume Zona Inlet

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

V = volume bak (m³)

Q = debit air limbah (m³/s)

T_d = waktu detensi (s)

- iii. Kedalaman Zona Inlet

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

$$H_{\text{Total}} = H + F_b$$

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

V = volume bak (m³)

A = luas permukaan (m²)

F_b = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

- iv. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

Zona Transisi (Transition Zone)

- i. Luas Perforated Baffle (A_b)

$$A_b = W_b \times H_b$$

Keterangan:

A_b = Luas Perforated Baffle

W_b = Lebar Baffle

H_b = Tinggi Baffle

ii. Luas per Lubang (A_l)

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

Keterangan:

A_l = Luas per Lubang

D = Diameter Lubang

iii. Luas Bersih Baffle (A_{bb})

$$A_{bb} = 40\% \times A_b$$

Keterangan:

A_{bb} = Luas Bersih Baffle

A_b = Luas Perforated Baffle

iv. Jumlah Lubang (n Total)

$$n \text{ Total} = \frac{\text{Luas Bersih Baffle } (A_{bb})}{\text{Luas per Lubang } (A_l)}$$

Keterangan:

n Total = Jumlah Lubang

A_{bb} = Luas Bersih Baffle

A_l = Luas per Lubang

v. Jarak antar Lubang Horizontal (Sh)

$$Sh = \frac{\text{Lebar Baffle } (W_b)}{n \text{ Horizontal}}$$

Keterangan:

W_b = Lebar Baffle

n Horizontal = Jumlah Lubang Horizontal

vi. Jarak antar Lubang Vertikal (S_v)

$$S_v = \frac{\text{Tinggi Baffle } (H_b)}{n \text{ Vertikal}}$$

Keterangan:

H_b = Tinggi Baffle

n Vertikal = Jumlah Lubang Vertikal

vii. Kecepatan Aliran Lewat Lubang (v_l)

$$v_l = \frac{Q_l}{\frac{1}{4} \pi \times D^2}$$

Keterangan:

v_l = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

Q_l = Debit Melalui Lubang

D = Diameter Lubang

viii. Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\text{Diameter Lubang}}{2}$$

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

ix. Cek Bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{\rho \text{ air} \times v_l \times R}{\mu}$$

Keterangan:

N_{Re} = Bilangan Reynolds

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

v_l = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

R = jari-jari hidrolis (m)

μ = Absolute Viscosity (N.s.m^2)

xiv. Cek Bilangan Freud (N_{Fr})

$$N_{Fr} = \frac{v_l^2}{g \times R}$$

Keterangan:

N_{Fr} = Bilangan Freud

v_l = Kecepatan Aliran Lewat Lubang

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

R = jari-jari hidrolis (m)

Zona Lumpur (Sludge Zone)

i. Removal TSS (output Sludge di Bak Pengendap)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{removal}))$$

Keterangan:

C_n = Removal TSS (mg/L)

C_o = TSS Influent (mg/L)

%removal = persentase removal TSS

ii. Berat Solid

Berat Solid = Removal TSS x Q

Keterangan:

Q = Debit air limbah (m³/s)

iii. Berat Air

Berat Air = $\frac{95\%}{5\%}$ x Berat Solid

Keterangan:

$\frac{95\%}{5\%}$ = perbandingan antara air & solid

iv. Berat Jenis Solid

$S_g = (60\% \times S_g \text{ Volatile Solid}) + (40\% \times S_g \text{ Fixed Solid})$

Keterangan:

S_g = berat jenis solid (kg/m³)

v. Berat Jenis Sludge

$S_i = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho \text{ air})$

Keterangan:

S_i = berat jenis *sludge* (kg/m³)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m³)

vi. Volume Solid

$V \text{ Solid} = \frac{\text{Berat Solid}}{S_g \text{ Solid}}$

Keterangan:

V solid = volume solid (m³)

S_g = berat jenis solid (kg/m³)

vii. Volume Air

$V \text{ Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$

Keterangan:

V Air = volume air (m³)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m³)

viii. Volume Lumpur

$$V \text{ Lumpur} = V \text{ air} + V \text{ Solid}$$

Keterangan:

$$V \text{ Air} = \text{volume air (m}^3\text{)}$$

$$V \text{ Solid} = \text{volume solid (m}^3\text{)}$$

ix. Dimensi Ruang Lumpur

$$V \text{ Pengurasan} = V \text{ Lumpur} \times \text{Periode Pengurasan}$$

$$\text{Luas Atas (Aa)} = \text{La} \times \text{Wa}$$

$$\text{Luas Bawah (Ab)} = \text{Lb} \times \text{Wb}$$

$$V \text{ Ruang Lumpur} = \frac{1}{3} \times H \times [(Aa + Ab) + (\sqrt{Aa + Ab})]$$

Keterangan:

$$H = \text{kedalaman (m)}$$

$$Aa = \text{luas permukaan atas (m}^2\text{)}$$

$$Ab = \text{luas permukaan bawah (m}^2\text{)}$$

$$La = \text{panjang atas (m)}$$

$$Wa = \text{lebar atas (m)}$$

$$Lb = \text{panjang bawah (m)}$$

$$Wb = \text{lebar bawah (m)}$$

x. Pipa Penguras

$$Q \text{ Pengurasan} = \frac{V \text{ Ruang Lumpur}}{Td}$$

Keterangan:

$$Qp = \text{debit pengurasan (m}^3\text{/s)}$$

$$Td = \text{waktu detensi (s)}$$

Diameter Pipa Penguras

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

Keterangan:

$$D = \text{diameter pipa (m)}$$

$$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$$

Zona Outlet (Outlet Zone)

i. Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m²)

W = lebar bak (m)

L = panjang bak (m)

ii. Volume Zona Outlet

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

V = volume bak (m³)

Q = debit air limbah (m³/s)

T_d = waktu detensi (s)

iii. Kedalaman Zona Outlet

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

$$H_{\text{Total}} = H + F_b$$

Keterangan:

H = kedalaman bak (m)

V = volume bak (m³)

A = luas permukaan (m²)

F_b = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

iv. Kecepatan Aliran

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

W = lebar (m)

H = kedalaman bak (m)

v. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

vi. Kehilangan Tekanan

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

Keterangan:

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

v = kecepatan aliran (m/s)

n = koefisien kekasaran manning pipa

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

vii. Slope (S)

$$S = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan:

S = kemiringan pipa (m/m)

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

ix. Gutter dan Weir (Pelimpah)

- Panjang Weir (L_w)

$$\text{Panjang Weir } (L_w) = \frac{Q}{\text{Weir Loading Rate} \times \text{Jumlah Weir}}$$

Keterangan:

L_w = Panjang Weir (m)

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

- Luas Saluran Pelimpah/Gutter

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

Keterangan:

A = luas permukaan gutter (m^2)

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

v = kecepatan aliran (m/s)

- Ketinggian Air Pada Gutter (H_{air})

$$H_{air} = \left(\frac{Q \text{ Gutter}}{1,38 \times W \text{ Gutter}} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

H_{air} = ketinggian air (m)

Q_{gutter} = debit yang melalui *gutter* (m^3/s)

- Tinggi Gutter (H Gutter)

$$H_{Gutter} = H + \text{Freeboard}$$

Keterangan:

H Gutter = tinggi gutter (m)

H = kedalaman bak (m)

Fb = *Freeboard* (m)

$$= 20\% \times H$$

- Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R_{gutter} = \frac{W_{Gutter} \times H_{air}}{W_{Gutter} + (2 \times H_{air})}$$

Keterangan:

R_{gutter} = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

W_{gutter} = Lebar Gutter (m)

H_{air} = ketinggian air (m)

- Luas Basah Gutter

$$A_{Gutter} = W_{gutter} \times H_{air}$$

Keterangan:

A_{Gutter} = Luas Gutter (m^2)

W_{gutter} = Lebar Gutter (m)

H_{air} = ketinggian air (m)

- Kemiringan Gutter

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

Keterangan:

S = kemiringan *gutter* (m/m)

Q_{gutter} = debit yang melalui *gutter* (m^3/s)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

A_{Gutter} = Luas Gutter (m^2)

R_{gutter} = Jari-Jari Hidrolis Gutter (m)

- Kehilangan Tekanan pada Gutter

$$H_f = S \times L$$

Keterangan:

Hf = Kehilangan Tekanan (m)

S = kemiringan *gutter* (m/m)

L = Panjang Gutter (m)

x. V Notch

- Jumlah V Notch

$$n \text{ V Notch} = \frac{Lw}{\text{Jarak antar V Notch} + W \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

n V Notch = Jumlah V Notch

Lw = Panjang Weir (m)

- Debit Mengalir Tiap V Notch

$$Q_{\text{V Notch}} = \frac{Q}{n \text{ V Notch}}$$

Keterangan:

$Q_{\text{V Notch}}$ = Debit Mengalir Tiap V Notch (m^3/s)

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

n V Notch = Jumlah V Notch

- Tinggi Peluapan Melalui V Notch

$$Q_{\text{V Notch}} = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \frac{\tan \theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

$Q_{\text{V Notch}}$ = Debit Mengalir Tiap V Notch (m^3/s)

Cd = koefisien *drag*

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H = kedalaman (m)

2.2.3. Pengolahan Sekunder (*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. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut;

1. mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima;

2. menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan nonsettleable menjadi flok biologis atau biofilm;
3. mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan
4. menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007).

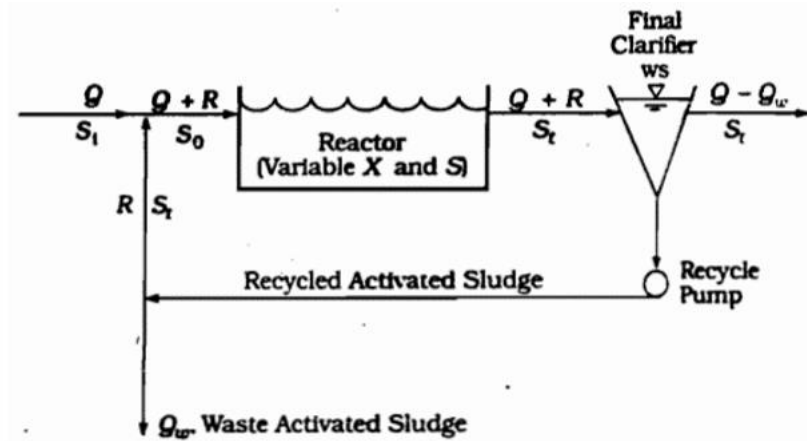
Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis.

a. *Activated Sludge*

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

Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 . dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa Blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Metode pengolahan lumpur aktif (*Activated sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Untuk alur pengolahan pada *Activated Sludge* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 13. Proses pada Activated Sludge

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *Activated Sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun jenis-jenis proses di dalam *Activated sludge*, yaitu:

i. Konvensional

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

ii. Tapered Aerasi

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

iii. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik untuk memproses lumpur aktif. Tangki lainnya adalah *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorpsi (proses stabilisasi).

iv. Pure Oxygen

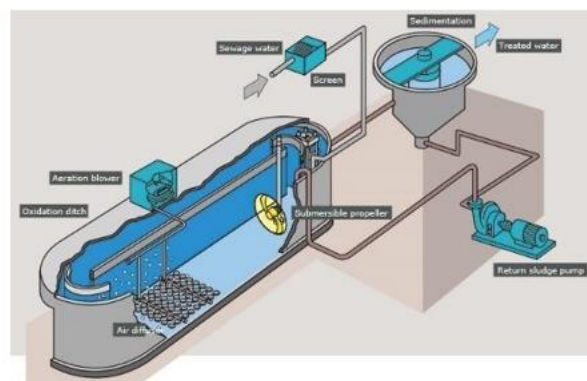
Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan di resirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan waktu tinggal pendek.

v. 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.

vi. Oxidation Ditch

Bentuk oxidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 14. Sketsa Oxidation Ditch

(Sumber:<https://www.jfeeng.co.jp/en/products/aqua/aqua13.html>)

vii. Step Aeration System

Merupakan type plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju Outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3-4 titik ditangki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

i. Oksigen

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

ii. Nutrisi

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

- Makro Nutrient

Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2003).

- Mikro Nutrient

Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni. Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Perry.R.H. & Green.D., 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun Komposisi organisme.

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.

iii. pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat di atasi dengan larutan H₂SO₄ atau NaOH maupun larutan kapur.

iv. Temperatur

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

Adapun parameter penting untuk desain *Activated Sludge* adalah:

- F/Mratio, merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat(BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *Activated Sludge* yang digunakan.
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C₀).
- Waktu detensi (td) adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
- Volume bak aerasi (V).

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

a. Kriteria Perencanaan

- | | | | |
|------|----------------------------|---|-----------------------------------|
| i. | Umur Lumpur (θ_c) | = | 5-15 hari |
| ii. | Rasio F/M | = | 0,2-0,4 kg BOD/kg MLSS.hari |
| iii. | Volumetric Loading | = | 0,6-1 kg BOD/m ³ /hari |
| iv. | MLSS (X) | = | 2000-3500 mg/L |

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 484 – 485)

- | | | | |
|-----|-----------------------|---|-----------|
| v. | Waktu Detensi (HRT) | = | 3-5 jam |
| vi. | Rasio Resirkulasi (R) | = | 0,25-0,75 |

- vii. Nilai Koefisien:
 - Rata-Rata Penggunaan Substrat = 2-10/hari
 - (k)
 - Konsentrasi Substrat (Ks) = 25-100 mg/L.BOD
 - Koefisien Endogeneous (Ke) = 0,025-0,7075/hari
 - Yield Coefficient (Y) = 0,4-0,8 mgMLVSS/mg BOD
 - Suhu correction Coefficient (θ) = 1,03-1,09
- viii. Kedalaman Bak (H) = 3-4,5 m
- ix. MLVSS (Xv) = 60%-75% MLSS

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 450 – 459)

- x. Suhu air buangan 26 °C, sehingga:
 - Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - 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)

- xi. Freeboard (Fb) = 10%-20%
- xii. Safety Factor = 2
- xiii. Return Sludge Ratio = 0,7-1,2
- xiv. 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)

b. Rumus yang Digunakan

- i. Koefisien Kinetik pada Suhu 26°C
 - Koefisien Endogenous (Ke)
 - $$Ke = Ke_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K_e = Koefisien *Endogenous* (/hari)

θ = Suhu *correction Coefficient* (°)

- Koefisien Yield (Y)

$$Y = Y_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

Y = Koefisien *Yield* (mg MLVSS/mg BOD)

θ = Suhu *correction Coefficient* (°)

- Rata-Rata Penggunaan Substrat (K)

$$K = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

K = Rata Rata Penggunaan Substrat (/hari)

θ = Suhu *correction Coefficient* (°)

- Konsentrasi Substrat (Ks)

$$K_s = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

Keterangan:

Ks = Konsentrasi Substrat (mg/L.BOD)

θ = Suhu *correction Coefficient* (°)

ii. BOD ter Removal

$$\text{BOD ter Removal} = \text{BOD}_{\text{influent}} \times \% \text{removal}$$

iii. Kadar MLVSS (Xv)

$$\text{MLVSS} = \% \text{MLVSS} \times \text{MLXX (X)}$$

iv. Sludge Volume Index (SVI)

Direncanakan dari hasil analisa laboratorium diperoleh konsentrasi 2500mg/L MLSS dengan volume lumpur yang mengendap selama 30 menit dalam 1liter sampel = 250 mL, maka:

(Sumber: (Sumber: (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 685)

$$\text{SVI} = \frac{V}{\text{MLSS}}$$

Keterangan:

SVI = *Sludge Volume Index (mL/gr)*

V = volume (m³)

v. Debit Resirkulasi

$$Q_r = R \times Q$$

Keterangan:

Q_r = debit resirkulasi (m³/s)

R = Rasio Resirkulasi (m)

Q = debit air limbah (m³/s)

vi. Debit Bak/Debit Total

$$Q_a = Q + Q_r$$

Keterangan:

Q_a = Debit Bak Total (m³/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

Q_r = debit resirkulasi (m³/s)

vii. Konsentarsi BOD pada Activated Sludge (Ca)

$$C_a = \frac{(BOD\ influent \times Q) + (BOD\ Effluent \times Q_r)}{Q_a}$$

Keterangan:

C_a = Konsentarsi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m³/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

Q_r = debit resirkulasi (m³/s)

viii Volume Bak (V)

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (C_a - BOD\ effluent)}{X \times (1 + (K_e \times \theta_c))}$$

Keterangan:

V = Volume Bak (m³)

Y = *Yield Coefficient*

θ = *Suhu correction Coefficient (°)*

C_a = Konsentarsi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m³/s)

X = MLSS

Ke = Koefisien *Endogenous* (/hari)

ix. Lumpur yang Dihasilkan (γ_{obs})

$$\gamma_{obs} = \frac{Y}{1 + Ke + \theta c}$$

Keterangan:

γ_{obs} = Lumpur yang Dihasilkan

Ke = Koefisien *Endogenous* (/hari)

Y = *Yield Coefficient*

θ = *Suhu correction Coefficient* (°)

x. Produksi Lumpur (P_x)

$$P_x (MLVSS) = \gamma_{obs} \times Q_a \times (C_a - \text{BOD Effluent})$$

Keterangan:

$P_x (MLVSS)$ = Produksi Lumpur

γ_{obs} = Lumpur yang Dihasilkan

C_a = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

xi. Kontrol F/M

$$F/M = \frac{Q_a \times C_a}{V \times X}$$

Keterangan:

F/M = F/M Ratio

C_a = Konsentrasi BOD pada Activated Sludge

Q_a = Debit Bak Total (m^3/s)

V = Volume Bak (m^3)

X = MLSS

xv. Debit Lumpur (Q_s) dari tangki Activated Sludge

$$Q_s = \frac{V}{\theta c}$$

Keterangan:

V = Volume Bak (m^3)

θc = Periode Lumpur

c. Clarifier

Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Clarifier sama saja

dengan bak pengendap pertama. Hanya saja Clarifier biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif.

Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah Clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

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

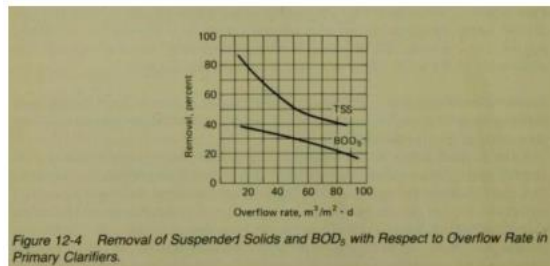
Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit Clarifier:

Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Over Flow Rate (OFR)

- Average = 30-50 m³/m².hari

- Peak = 70-130 m³/m².hari



(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal = 0,6-3,6 jam
(Td)

(Sumber: Tabel 12.2 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

iii. Dimensi

- Rectangular

• Panjang (L) = 10-100 m

• Lebar (W) = 3-24 m

• Kedalaman (H) = 2,5-5 m

• P : L = 1-7,5 : 1

• P : H = 4,2-25 : 1

- Circular

• Diameter (D) = 3-60 m

• Kedalaman (H) = 3-6 m

(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

iv. Flight Speed = 0,02-0,05 m/menit

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

v. %Removal TSS = 50%-70%

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

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

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

vii. Diameter Inlet = 15%-20% Diameter Bak Well

viii. Ketinggian Inlet = 0,5-0,7 m Well

- ix. Kecepatan Inlet = 0,3-0,75 m/s
Well
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4 th Edition, halaman 401)
- x. Bilangan Reynold = <1 (Aliran Laminar)
(NRe) untuk v_s
- xi. Bilangan Reynold = <2000 (Aliran Laminar)
(NRe) untuk v_h
- xii. Bilangan Freud = $>10^{-5}$ (Mencegah Aliran Pendek)
(NFr)
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)
- xiii. Specific Gravity = 1,3-1,5
Suspended Solid
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)
- xiv. Slope ke arah Zona Sludge
- Rectangular = 1%-2%
- Circular = 40-100 m/m
(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)
Konsentrasi Solid = 4%-12%
- xv. Cek NRe Partikel $< 0,5$
- xvi. Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)
- xvii. Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)
- xviii. Suhu air buangan $26\text{ }^\circ\text{C}$, sehingga:
- Kinematic = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Viscosity (θ)

- Absolute μ = $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$

Viscosity (μ)

- 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)

xix. Koef. Manning = $0,012-0,016$

(n)

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

xx. Kontrol penggerusan

- Faktor kisi = $0,05$

porositas (β)

- Faktor fraksi = $0,03$

hidrolis (λ)

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

Zona Lumpur (Sludge Zone)

i. Volatile Solid = $60\%-90\%$

ii. Dry Solid = $3\%-8\%$

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{iv. Massa Jenis } (\rho) &= 0,99681 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 996,81 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

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

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Zona Pengendapan (Settling Zone)

i. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

Keterangan:

A = Luas Permukaan

Q = Debit Air Limbah

ii. Diameter Bak

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

Keterangan:

D = Diameter Bak

A = Luas Permukaan

iii. Cek Over Flow Rate

$$\text{Over Flow Rate} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Cek Waktu Detensi

- Volume Zona Pengendapan

$$V = A \times H$$

Keterangan:

V = Volume Zona Pengendapan

A = Luas Permukaan

H = Tinggi Zona Pengendapan

- Waktu Sesuai Overflow Design

$$T_d = \frac{V}{Q}$$

Keterangan:

T_d = Waktu Detensi

V = Volume Zona Pengendapan

Q = Debit Air Limbah

v. Kecepatan Pengendapan (v_s)

$$v_s = \frac{H}{T_d}$$

Keterangan:

v_s = Kecepatan Pengendapan

H = Tinggi Zona Pengendapan

T_d = Waktu Detensi

vi. Kecepatan Horizontal (v_h)

$$v_h = \frac{D}{T_d}$$

Keterangan:

v_h = Kecepatan Horizontal

D = Diameter Bak

T_d = Waktu Detensi

vii. Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \times D}$$

Keterangan:

R = Jari-Jari Hidrolis

D = Diameter Bak

viii. Diameter Partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times 18 \times \mu}{g (Sg - 1)}}$$

Keterangan:

D_p = Diameter Partikel

v_s = Kecepatan Pengendapan

μ = Absolute Viscosity

S_g = Suspended Gravity Solid

ix. Cek Bilangan Reynold Partikel (NRe Partikel)

$$\text{NRe Partikel} = \frac{D_p \times v_s}{\mu}$$

Keterangan:

NRe Partikel = Bilangan Reynold Partikel

D_p = Diameter Partikel

v_s = Kecepatan Pengendapan

μ = Absolute Viscosity

x. Cek Bilangan Reynold (NRe)

$$\text{NRe} = \frac{v_h \times r}{\mu}$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynold

v_h = Kecepatan Horizontal

r = Jari-Jari Bak

μ = Absolute Viscosity

xi. Cek Bilangan Freud (NFr)

$$\text{NFr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan:

NFr = Bilangan Freud

v_h = Kecepatan Horizontal

g = Kecepatan Gravitasi Bumi

H = Tinggi Zona Pengendapan

xii. Cek Penggerusan/Kecepatan Scouring (v_{sc})

$$v_{sc} = \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (S_s - 1) \times g \times D_p \right]^{1/2}$$

Keterangan:

β = Faktor Kisi

λ = Faktor Fraksi

Ss = Suspended Gravity Solid

g = Kecepatan Gravitasi Bumi

Dp = Diameter Partikel

Zona Inlet (Inlet Zone)

i. Diameter Inlet Wall (Diw)

$$\text{Diw} = 20\% \times \text{Diameter Bak}$$

ii. Luas Permukaan (A)

$$A = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Keterangan:

A = Luas Permukaan

D = Diameter Bak

iii. Kecepatan air di inlet awal (V')

$$V' = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

V' = Kecepatan Air di Pipa Inlet

Q = Debit Air Limbah

A = Luas Permukaan

iv. Pipa Inlet

- Luas Penampang Pipa (A)

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

Keterangan:

A = Luas Penampang Pipa

Q = Debit Air Limba

V' = Kecepatan Air di Pipa Inlet

- Diameter Pipa (D)

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

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Penampang Pipa

v. Cek Kecepatan Aliran

$$v = \frac{Q}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran

Q = Debit Air Limbah

D = Diameter Bak

Zona Penipisan (Thickening Zone)

i. MLVSS dalam Clarifier

$$MLVSS_{AS} = \%Biological \times MLVSS_{Total}$$

ii. Massa Solid Total pada Clarifier

$$M_{Solid\ Total} = MLVSS_{Clarifier} \times V_{Clarifier}$$

iii. Kedalaman Zona Penipisan

$$H = \frac{M_{solid\ total}}{X \times A}$$

Keterangan:

H = Tinggi Zona Penipisan

A = Luas Permukaan Bak

Zona Lumpur (Sludge Zone)

i. Removal TSS (output Clarifier menuju SDB)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{ Removal}))$$

Keterangan:

C_n = Removal TSS

C_o = Influent TSS

ii. Berat Solid

$$\text{Berat Solid} = (\text{Removal TSS} \times Q) + P_{X_{MLSS}}$$

Keterangan:

Q = Debit Air Limbah

P_{X_{MLSS}} = Produksi Lumpur

iii. Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

iv. Berat Jenis Solid

$$S_g = (60\% \times S_g \text{ Volatile Solid}) + (40\% \times S_g \text{ Fixed Solid})$$

v. Berat Jenis Sludge (Si)

$$Si = (5\% \times \text{Berat Jenis Solid}) + (95\% \times \rho \text{ air})$$

vi. Volume Solid

$$V_{\text{Solid}} = \frac{\text{Berat Solid}}{Sg \text{ Solid}}$$

vii. Volume Air

$$V_{\text{Air}} = \frac{\text{Berat Air}}{\rho \text{ air}}$$

viii. Volume Lumpur

$$V_{\text{Lumpur}} = V_{\text{Air}} + V_{\text{Solid}}$$

ix. Berat Sludge

$$\text{Berat Sludge} = V_{\text{Lumpur}} \times Si$$

x. Dimensi Ruang Lumpur

- Volume Ruang Lumpur

$$V_{\text{Ruang Lumpur}} = V_{\text{Lumpur}} \times \text{Periode Pengurasa}$$

- Kedalaman Ruang Lumpur)

$$V_{\text{Ruang Lumpur}} = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + (R \times r))$$

Keterangan:

H = Tinggi Zona Lumpur

R = Jari-Jari Permukaan Atas

r = Jari-Jari Permukaan Bawah

- Kedalaman Total Clarifier

$$H \text{ Clarifier} = H_{\text{Settling Zone}} + H_{\text{Thickening Zone}} + H_{\text{Sludge Zone}}$$

$$H \text{ Clarifier Total} = H \text{ Clarifier} + \text{Freeboard}$$

xi. Dimensi Pipa Penguras

- Debit Pengurasan

$$Qp = \frac{v \text{ ruang lumpur}}{Td}$$

- Luas Permukaan

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

- Diameter Pipa Penguras

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

Zona Outlet (Outlet Zone)

- i. Panjang Weir (L_w)

$$L_w = \pi \times D \text{ Bak}$$

- ii. Jumlah V Notch (n)

$$n = \frac{L_{weir}}{\text{Jarak V Notch}}$$

- iii. Debit tiap V Notch

$$Q \text{ V Notch} = \frac{Q}{n}$$

- iv. Tinggi peluapan melalui V Notch (H_{air})

$$Q \text{ V Notch} = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

C_d = Koefisien Drag

H = Ketinggian Air

- v. Luas Saluran Pelimpah

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

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

Q = Debit Air Limbah

v = Kecepatan Aliran

- vi. Dimensi Saluran Pelimpah

$$H : W = 1 : 2$$

$$A = H \times W$$

$$= H \times 2H$$

$$= 2H^2$$

$$H \text{ Total} = H + \text{Freeboard}$$

Keterangan:

A = Luas Saluran Pelimpah

H = Tinggi Zona

W = Lebar Zona

L = Panjang Zona

- vii. Pipa Outlet ke Badan Air

$$\text{Diameter Pipa (D)} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

Keterangan:

D = Diameter Pipa

A = Luas Saluran Pelimpah

2.2.4. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

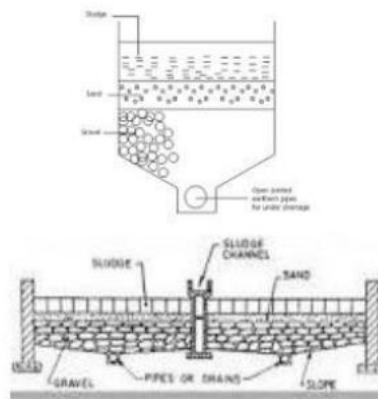
Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. 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 59 keperluan kehidupan. *Sludge* dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007):

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

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah *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 5 hari dengan bantuan sinar matahari.

a. *Sludge Drying Bed*

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. 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 et al., 2007).



Gambar 2. 15. Sludge Drying Bed

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2007)

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.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

- i. Waktu Pengeringan = 5-15 Hari
- ii. Tebal Sludge Cake = 20-30 cm
- iii. Tebal Pasir = 23-30 cm
- iv. Lebar (W) = 6 m
- v. Panjang (L) = 6-30 m
- vi. Slope = 1%
- vii. Kecepatan Aliran = >0,75 m/s
- viii. Berat Air dalam Cake (Pi) = 60%-70%
- ix. Kadar Air (P) = 60%-80%
- x. Kadar Solid = 20%-40%
- xi. Sludge Loading Rate = 120-150 kg/solid kering/m².tahun

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572)

- xii. W : L = 1 : 4

(Sumber: SNI 7510 – 2011)

2.3. Persen *Removal*

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki *Removal* yang berbeda. Persen *Removal* berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%). Besar persen *Removal* unit pengolahan air limbah industri tepung tapioka dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. 8. Persen *Removal*

Unit Pengolahan	%Removal	Sumber
Pre Treatment		
Saluran Pembawa	-	-
Bar Screen	-	-
Bak Penampung	-	-
Primary Treatment		
Netralisasi	pH 6,5-9	(Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations & Processes in Environment Engineering, page 161
	96% Sianida	(Jeklin, 2016) Penurunan Kadar Sianida Limbah Cair Industri Tapioka dengan Larutan Kapur Tohor (Ca(OH) ₂) di Desa Ngemplak Kidul, Margoyoso, Pati. Kesehatan Masyarakat, 6(July), 1–23
Koagulasi-Flokulasi	-	-
Bak Pengendap I	50%-70% TSS	(Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12
Secondary Treatment		
Activated Sludge	80%-99% BOD	(Cavaseno, 1987) Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. McGraw-Hill, Inc. Halaman 15
	50%-95% COD	
	60%-80% TSS	
Clarifier	50%-70% TSS	(Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12
Sludge Treatment		

Sludge Drying Bed	-	-
-------------------	---	---

2.4. Profil Hidrolis

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

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

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

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

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

a. Kehilangan tekanan pada perpipaan

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

b. Kehilangan tekanan pada aksesoris

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

c. Kehilangan tekanan pada pompa

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

d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara: a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir. b. Menambahkan kehilangan tekanan antara bangunan kedua dengan 60 bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua. c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum bangunan kedua demikian seterusnya hingga bangunan terakhir.