

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Limbah Industri

2.1.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri aerobik untuk mengurai zat organik melalui proses biologis (*biological oxidatioan*) secara dekomposisi aerobik. Angka BOD menggambarkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua senyawa organik yang terlarut dan yang sebagian tersuspensi di dalam air (Atima, 2015).

Kandungan BOD yang terdapat dalam air buangan industri gula ini sebesar 1500 mg/l. Sedangkan menurut Peraturan Gubernur yang mengatur tentang baku mutu limbah cair industri, kandungan BOD yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 60 mg/l.

2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

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 & Eddy, 2003).

Kandungan COD yang terdapat dalam air buangan industri gula ini sebesar 2600 mg/l. Sedangkan menurut Peraturan Gubernur No. 52 Tahun 2014 tentang baku mutu limbah cair industri, kandungan COD yang dapat dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/l.

2.1.3 Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah jumlah *Total Solids* (TS) yang tertahan pada sebuah filter dengan ukuran pori tertentu, yang diukur setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling umum digunakan untuk pengukuran TSS yaitu Whatman glass fiber filter dengan ukuran pori 1,58 µm. Sedangkan TS sendiri adalah residu yang tersisa setelah air limbah diuapkan dan dikeringkan dengan suhu tertentu (103–105°C) (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan TSS air buangan industri gula ini adalah 450 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

2.1.4 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak sebenarnya mirip, minyak dan lemak merupakan bahan (ester) dari alkohol atau gliserol (gliserin) dengan asam lemak. Gliseride asam lemak yang cair dan temperaturnya normal merupakan minyak, sedangkan yang padat merupakan lemak. Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan permukaan dan membuat lapisan tembus cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk membentuk sebuah lapisan tembus cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in) (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan minyak dan lemak air buangan industri gula ini adalah 15 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014)

2.1.5 Sulfida (H₂S)

Hydrogen sulfida (H₂S) adalah gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktifitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik), seperti di rawa, dan saluran pembuangan kotoran. Gas ini juga muncul pada gas yang timbul dari aktivitas gunung berapi dan gas alam (Sugiharto, 1987). Parameter sulfida dapat ditemukan karena limbah cair industri gula merupakan

hasil dari pemurnian sari tebu dalam proses produksi di stasiun pemurnian dan masakan.

Kandungan sulfida air buangan industri gula ini adalah 6 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,5 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2014).

2.1.6 Derajat Keasaman (pH)

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air maupun dari air limbah. adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987). Parameter pH dapat ditemukan karena limbah cair industri gula diproses dengan bahan campuran berupa kapur dan diatur derajat keasamannya menjadi basa agar waktu melalui pipa tidak mudah berkarat.

2.2. Bangunan Pengolahan Air Buangan

Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Pengolahan terhadap tingkat perlakuannya dan pengolahan terhadap sifatnya. Bangunan pengolahan air buangan mempunyai kelompok tingkat pengolahan yaitu (Sugiharto, 1987):

1. Pengolahan Pendahuluan (*Pre - Treatment*)
2. Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)
3. Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)
4. Pengolahan Lumpur (*Sludge - Treatment*)

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre - Treatment*)

Proses *pre-treatment* adalah proses pengolahan awal secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar maupun sedang agar dapat mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Tujuan dari pengolahan ini yaitu memisahkan kerikil dan zat padat. Selain itu juga berfungsi sebagai media penyalur air limbah dari unit produksi

industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan limbah. Unit pengolahan *pre-treatment* antara lain :

a. Saluran Pembawa

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

Sumber: <https://www.precon.co.id/produk/detail-produk/2019/02/u-ditch-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 Potongan Saluran Tertutup

Sumber: <http://www.ocw.upj.ac.id/files/Slide-CIV-106-CIV-106-12-Aliran-Melalui-Pipa.pdf>

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. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Luas permukaan

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

dengan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

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

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Kedalaman Saluran Pembawa

$$H = \frac{A}{W} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

W = Lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

$$H \text{ total} = H + \text{freeboard} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

H_{total} = Kedalaman total saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

Fb = freeboard (10% – 30% H)

- Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{W \times H}{W + 2H} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

R = Jari-jari Hidrolis (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

W = Lebar saluran pembawa (m)

- *Slope* saluran pembawa

$$S = \frac{v \times n}{R^{2/3}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

S = *Slope* saluran pembawa (m)

v = Kecepatan saluran pembawa (m/s)

n = Koefisien Manning

R = Jari-jari Hidrolis (m)

- Headloss Saluran Pembawa

$$H_f = n \times L \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

H_f = Headloss saluran pembawa (m)

n = Koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

- Cek kecepatan

$$v \text{ cek} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

- v cek = Kecepatan saluran pembawa cek (m/s)
- A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)
- Q = Debit limbah (m³/s)

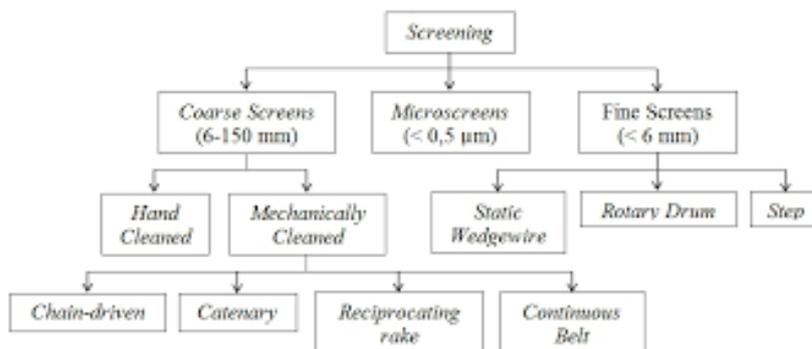
b. Bar Screen

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan (Metcalf & Eddy, 2003):

- Kerusakan pada alat pengolahan,
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- 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 Tipe Screening

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

1) *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 *Coarse Screen*

Sumber: <http://a3-environmental.com/waste-water/coarse-screen/>

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

Tabel 2. 1 Kriteria Perancangan Saringan Kasar (Coarse Screen)

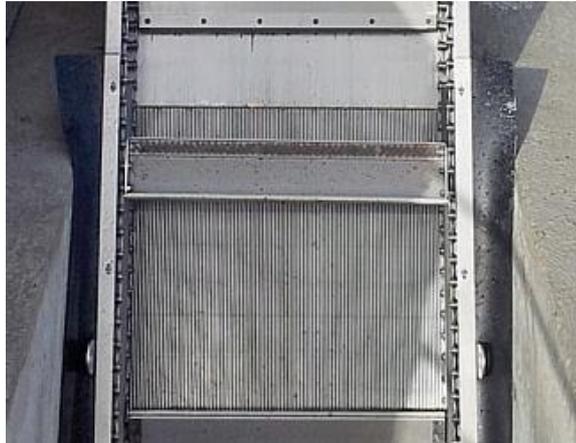
Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
Ukuran batang						
Lebar	Inch	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5-15	5-15
Kedalaman	Inch	1,0-1,5	1,0-1,5	mm	25-38	25-38
Jarak antarbatang	Inch	1,5-2,0	0,3-0,6	mm	25-50	15-75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30-45	0-30	mm	30-45	0-30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Minimum	Ft/s	-	1,0-1,6	m/s	-	0,3-0,5
Headloss	Inch	6	6-2,4	mm	150	150-100

(Sumber: Metcalf& Eddy, 2004)

2) *Fine Screen*

Penyaring halus (Fine Screen) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar screen) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan Biological Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). Fine Screen juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter.

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



Gambar 2. 5 *Fine Screen*

Sumber: <https://www.jcfranceindustrie.fr/en/bar-screens-wastewater/fine-bar-screens/>

Adapun kriteria perencanaan *fine screen* ditunjukkan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Fine Screen

Jenis screen	Pembukssn screen		Bahan screen	Pengggunaan	
	Klasifikasi ukuran	Range ukuran			
		inch			mm
Miring (diam)	sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainlesssteel	Pengolahan Primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainlesssteel	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainlesssteel	Pengolahan Primer
	Halus	-	6-35 jam	Stainlees-steel dan	Meremoval residual dari

				kain polyester	suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating Tangential	Sedang	0,06	0,17	Batangan stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
	Halus	0,0475	1200	Jala - jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah batang / kisi

$$W_s = (n \times d) + (n + 1) r \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

n = Jumlah batang / kisi

d = Lebar batang (m)

r = Jarak antar batang (M)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - (n \times d) \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

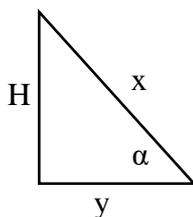
W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

n = Jumlah batang / kisi

d = Lebar batang (m)

- Panjang kisi



$$x = \frac{H}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

x = Panjang kisi (m)

sin α = Kemiringan screen

H = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Lebar Screen

$$y = x \times \cos \alpha \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

y = Lebar screen (m)

x = Panjang kisi (m)

cos α = Kemiringan screen

- Cek kecepatan setelah melalui kisi

$$V_i = \frac{Q}{W_c \times h} \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

v_i = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Q = Debit limbah (m³/s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen

- *Headloss* saat *clean screen & clogged screen*

$$H_f = \frac{1}{c} \left(\frac{v_i^2 - v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

H_f = *Headloss* saat *clean screen*

C = Koefisien *discharge* (0,7 untuk *clean screen*)

V₂ = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

V_{i2} = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

$$H_f = \frac{1}{c} \left(\frac{v_c^2 - v_i^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

H_{fc} = *Headloss* saat *clogged screen*

C = Koefisien *discharge* (0,6 untuk *clogged screen*)

V_{c2} = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa saat tersumbat (m/s)

v^2 = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

c. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit pengolahan yang berfungsi untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang, sehingga debit dan kualitas air buangan yang masuk ke instalasi pengolahan dalam keadaan seimbang dan tidak berfluktuasi. Ukuran dan tipe bak ekualisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak penampung atau saluran. Tujuan proses ekualisasi untuk mengolah limbah industri adalah:

- Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis
- Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang diisyaratkan untuk proses netralisasi
- Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia
- Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah
- Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.



Gambar 2. 6 Bak Ekualisasi

Sumber: <http://k6tiumb.blogspot.com/2009/12/equalisasi-pada-pengolahan-limbah-cair.html>

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

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ekualisasi adalah sebagai berikut :

- Volume Bak Ekualisasi

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

dengan:

V = Volume bak ekualisasi (m³)

Q = Debit limbah (m³/s)

t_d = Waktu detensi (s)

- Dimensi Bak Ekualisasi

$$V = L \times W \times H \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan:

V = Volume bak ekualisasi (m³)

L = Panjang bak ekualisasi (m)

W = Lebar bak ekualisasi (m)

H = Kedalaman air pada bak ekualisasi (m)

- Kedalaman Total

$$H_{tot} = H + \textit{freeboard} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan:

H_{total} = Kedalaman total saluran pembawa (m)

H = Kedalaman saluran pembawa (m)

Freeboard = (5% – 30% H)

Apabila dalam bak ekualisasi terjadi penghomogenan debit limbah, maka diperlukan sistem pengadukan, dapat menggunakan sistem aerasi. Rumus yang digubakan sebagai berikut:

- Kebutuhan Oksigen

$$\text{Kebutuhan Oksigen} = \frac{Q \times \textit{kebutuhan DO}}{\textit{Efisiensi transfer oksigen}} \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

Q = Debit limbah (m^3/s)

- Jumlah Surface Aerator

$$n = \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ total}}{\text{Kapasitas aerator}} \dots\dots\dots (2.19)$$

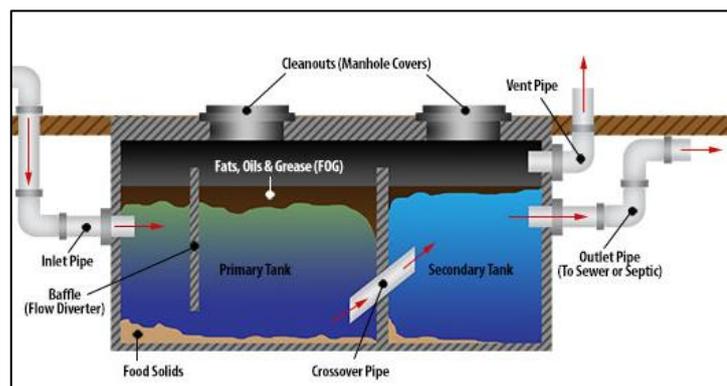
dengan:

n = Jumlah surface aerator

2.2.1 Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)

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

a. *Grease Trap*



Gambar 2. 7 Bak Grease Trap

Sumber: <https://www.plumbingsupply.com/how-grease-traps-interceptors-work.html>

Pengambilan zat-zat yang tercampur selain dengan cara pengendapan dapat juga dilakukan dengan cara pengapungan. Flotasi adalah unit operasi yang digunakan untuk menyisahkan minyak dan lemak dalam air limbah agar tidak mengganggu sistem pengolahan selanjutnya. Penyisihan minyak dan lemak menggunakan grease trap dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya grease trap terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisahkan berbagai jenis padatan dengan berat jenis yang lebih ringan daripada air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air. Selanjutnya kompartemen

kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut dalam aliran air menuju proses selanjutnya (PUPR).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan *grase trap* adalah sebagai berikut:

- Volume Bak *Grease Trap*

$$V = Q \times td \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

V = Volume bak *grease trap* (m³)

Q = Debit limbah (m³/s)

td = Waktu detensi (s)

- Luas Bak *Grease Trap*

$$A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

A = luas bak *grease trap* (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

v = kecepatan alir fluida dalam *grease trap* (m/s)

- Kedalaman Bak *Grease Trap*

$$H = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

H = Kedalaman bak *grease trap* (m²)

V = Volume bak *grease trap* (m³/s)

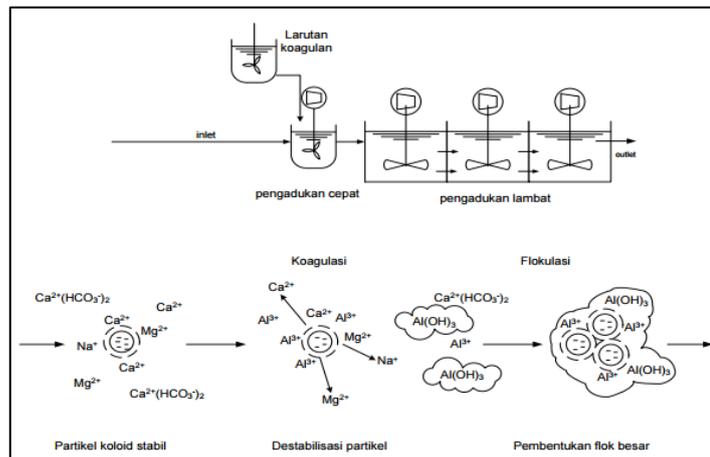
A = Luas permukaan *grease trap* (m²)

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, 2012).

Sejara setelah inti flok terbentuk, maka proses selanjutnya adalah proses flokulasi. Flokulasi merupakan tahap penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Proses koagulasi-flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada Gambar 2. 8.

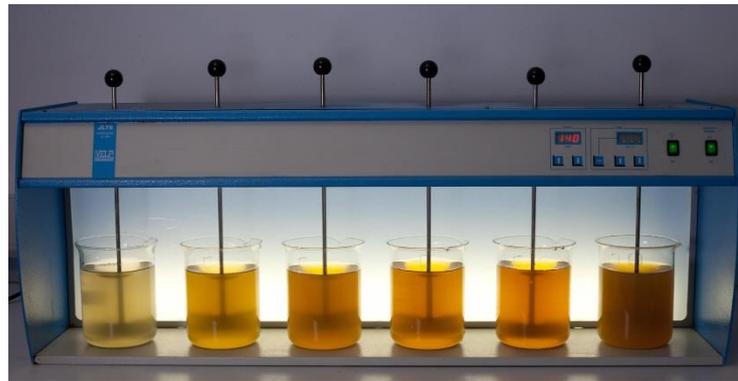


Gambar 2. 8 Proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber: Ali Masduqi, 2012

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi.

Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, 2012).



Gambar 2. 9 Peralatan Jar Test

Sumber: <https://analysis.aquaenviro.co.uk/laboratory-analysis/jar-testing-process-design-control-optimisation/>

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

a) 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 *G_{Td}* (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700 (Ali Masduqi, 2012). Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Pengadukan Mekanis
- Pengadukan Hidrolis
- Pengadukan Pneumatis

b) Pengadukan Lambat

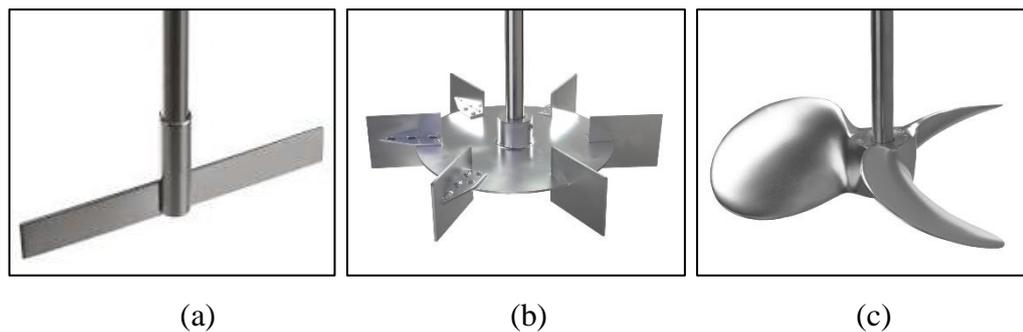
Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100/detik) 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 (Ali Masduqi, 2012).

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

a) Pengadukan Mekanis

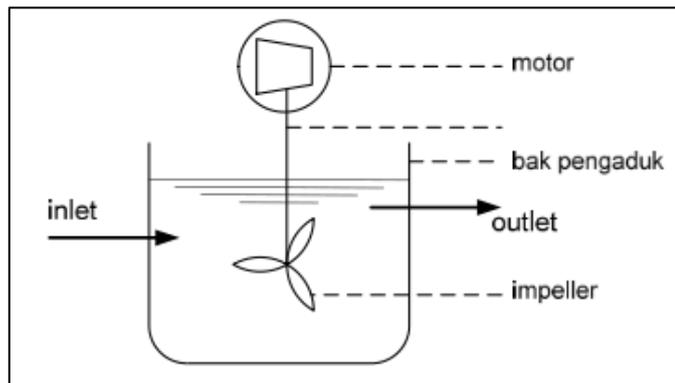
Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*,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



Gambar 2. 10 Tipe Impeller (a) Paddle (b) Turbin (c) Propeller

Sumber: Qasim, 19985

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. 11 Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

Sumber: Ali Masduqi, 2012

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

Tabel 2. 3 Konstanta K_T dan K_L

Jenis Impeller	K_T	K_L
<i>Propeller, Pitch of 1, 3 blades</i>	41	0,32
<i>Propeller, Pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60	5,31
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	65	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70	4,8
<i>Fan Turbine, 6 blades at 45o</i>	70	1,65
<i>Shrouded Turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shrouded Turbine, with stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat Paddles, 2 blades (Single Paddle), $D1/W1 = 4$</i>	43	2,25
<i>Flat Paddles, 2 blades, $D1/W1 = 6$</i>	36,5	1,7
<i>Flat Paddles, 2 blades, $D1/W1 = 8$</i>	33	1,15
<i>Flat Paddles, 4 blades, $D1/W1 = 6$</i>	49	2,75
<i>Flat Paddles, 6 blades, $D1/W1 = 8$</i>	71	3,82

Sumber: Reynold & Richards, 1996:188

b) Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan *parshall flume*.

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

c) 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.

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.

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (secara gravitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan atau sejenis bahan kimia. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004).

1) Alumunium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 14\text{H}_2\text{O}$)

Alumunium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan aluminium sulfat disebut dengan tawas dan bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$. Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan, dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 6-8.

2) Ferrie Chloride ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$)

Koagulan ferrie chloride dalam pengolahan air penggunaannya sangat terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

3) Ferrous Sulfate ($\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$)

Koagulan ferrous sulfate dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi ferrous sulfate. Keunggulan dari koagulan ferrous sulfate yaitu dapat bekerja pada pH 4,8-11.

4) Chlorinated Copperas ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3, \text{FeCl}_3, 7\text{H}_2\text{O}$)

Koagulan chlorinsted copperas atau dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ($\text{pH} > 10$).

5) Sodium Aluminate (NaAlO_2)

Koagulan Sodium Aluminat digunakan dalam kondisi khusus karena harga yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash.

6) Poly Alumunium Chloride (PAC)

Polimer aluminium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah aluminium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang. Pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH. PAC menghubungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun, terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengarahan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan koagulasi sebagai berikut:

- Kebutuhan koagulan

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{dosis koagulan} \times Q \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan:

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

Dosis koagulan = Dosis optimum koagulan (mg/L)

Q = Debit air limbah (m³/s)

- Volume koagulan

$$V = \frac{\text{Kebutuhan Alum}}{\rho \text{ Alum}} \times t_d \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

V = Volume koagulan (m³/s)

Kebutuhan koagulan = Jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

ρ Koagulan = Massa jenis koagulan (kg/m³)

t_d = Periode/lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air di dalam tangki koagulan

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H_{air} \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan:

V = Volume tangki pembubuh (m³)

D = Diameter tangki pembubuh (m)

H air = Kedalaman air dalam tangki pembubuh (m)

- Supply tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume tangki pembubuh (m³)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 187. Boston: PWS Publishing Company)

- Diameter *Impeller*

$$Di = \left(\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho_{air}} \right)^{1/5} \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

P = Supply tenaga ke air (Watt)

KT = Konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

η = Kecepatan putaran (rps)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

- Cek Nilai Reynold

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan:

NRe = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

Bilangan reynold dalam pengadukan cepat = Nre > 10000 (aliran turbulen)

Bilangan reynold dalam pengadukan lambat = Nre < 2000 (aliran laminar)

(Reynold, 1996).

c. Sedimentasi

Sedimentasi adalah unit pengolahan yang berfungsi untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Ali Masduqi, 2012).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *Surface Loading* (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2004).

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona, diantaranya:

1. Zona Inlet

Zona inlet merupakan proses terjadinya distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

2. Zona Outlet

Pada zona outlet dihasilkan air yang jernih tanpa adanya partikel tersuspensi yang ikut terbawa

3. Zona Settling

Zona settling merupakan proses terjadinya pengendapan sesungguhnya

4. Zona Sludge

Zona sludge merupakan tempat terkumpulnya lumpur dari zona settling. Kedalaman zona sludge tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

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

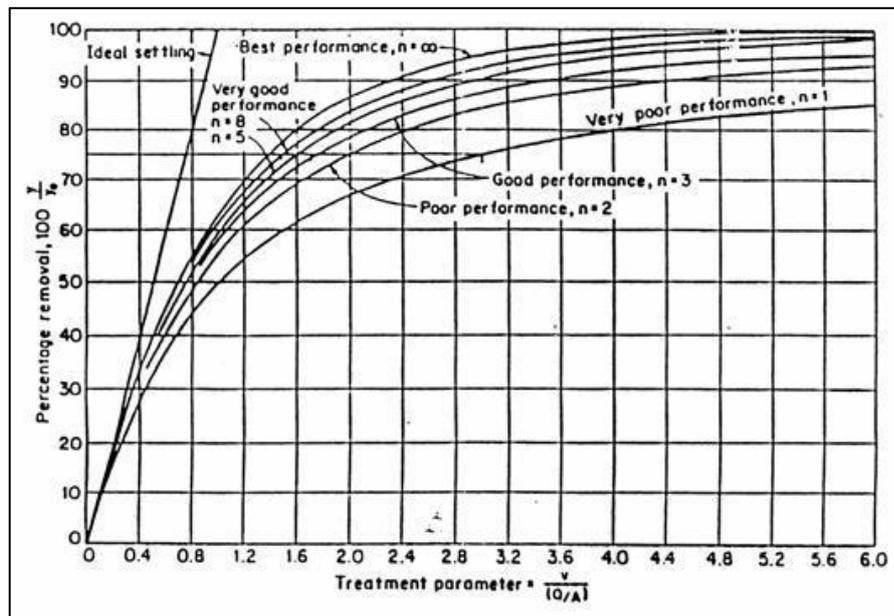
Inlet baffle efektif dalam mengurangi kecepatan awal yang tinggi dan mendistribusikan aliran pada luas penampang yang seluas mungkin. Apabila baffle

lebar penuh digunakan, maka baffle harus memanjang dari 150 mm di bawah permukaan hingga 300 mm di bawah bukaan pintu masuk (Metcalf & Eddy, 2004).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan sedimentasi sebagai berikut:

- Kecepatan pengendapan partikel

Menentukan performasi dari bak sedimentasi berdasarkan persen removal TSS, bisa memilih menggunakan efektivitas performancenya.



Gambar 2. 12 Performance curves for settling basins of varying effectiveness

Sumber: (Fair et al., 1971)

$$A = \frac{Q}{OFR} \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan:

A = luas penampang bak (m²)

Q = debit air limbah (m³/hari)

Q/A = Over Flowrate (OFR)

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

- Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times 18 \times v}{g (s_g - 1)}} \dots\dots\dots (2.29)$$

dengan:

- Dp = diameter partikel (m)
- vs = kecepatan pengendapan (m/detik)
- v = viskositas kimenatis (m²/s)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- sg = *Specific gravity*

- Massa jenis partikel (ρs)

$$Sg = \frac{\rho_s}{\rho_{air}} \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan:

- Sg = *Specific gravity*
- ρs = massa jenis partikel flok (kg/m³)
- ρ air = massa jenis air (kg/m³)

- Kecepatan penggerusan atau scouring (v_{sc})

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times k \times g \times Dp \times (sg-1)}{f}} \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan:

- k = konstanta kohesi untuk partikel yang saling mengikat 0,06
- f = faktor friksi Darcy-Weisbach antara 0,02-0,03
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- Dp = diameter partikel (m)

d. 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 berada diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam.

Larutan dikatakan asam bila : H⁺ > H⁻ dan pH < 7

Larutan dikatakan netral bila : H⁺ = H⁻ dan pH = 7

Larutan dikatakan basa bila : H⁺ < H⁻ dan pH > 7

Ada beberapa cara menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti :

- Pencampuran limbah.
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH, Na₂CO₃ atau NH₄OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) dalam limbah basa.
- Penambahan CO₂ bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa.

2.2.2 Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)

Pengolahan sekunder bertujuan untuk memisahkan koloid dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD antara 75 - 90 % serta 90 % TSS. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*) yang dibutuhkan untuk mengolah limbah cair industri karton box ini menggunakan unit pengolahan *activated sludge*.

2.2.2.1 *Activated Sludge*

Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi yang pertama kali dilakukan di Inggris pada awal abad 19. Sejak itu proses ini diadopsi seluruh dunia sebagai pengolah air limbah domestik sekunder secara biologi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO₂ dan H₂O, NH₄, dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Activated sludge merupakan proses pengolahan limbah secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan

dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai sebagai tempat berkembang biaknya.

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 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 CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi (Sperling, 2007).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan *activated sludge* sebagai berikut:

- Partikulat BOD di *effluent*

$$BP = (VSS/SS) \times fb \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan:

BP = Partikulat BOD di effluent (mg BOD/mg SS)

fb = Biodegradable Fraction of VSS

VSS/SS = rasio perbandingan VSS dan SS

- BOD yang teremoval

$$BOD\ removal = BOD\ influent\ (Co) \times \%removal \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan:

Co = BOD influent (mg/L)

%removal = Kemampuan meremoval unit

- BOD yang lolos (Cr)

$$BODs = BODi - BODr \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan:

BODs = BOD yang lolos

BODi = BOD influent

BOD = BOD removal

- Debit resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan:

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

R = Ratio resirkulasi

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

- Debit yang masuk ke activated sludge

$$Q_{in} = Q_o + Q_r \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan:

Q_{in} = Debit yang masuk ke activated sludge (m^3/s)

Q_r = Debit resirkulasi (m^3/s)

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

- Volume Bak

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_o - S)}{X_v (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)} \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan:

V = volume bioreaktor

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD₅ removed)

θ_c = umur lumpur (hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total ($m^3/detik$)

X_a = MLVSS (mg/L)

K_d = Endogenous Respiration Coefficient (hari)

FB = Biodegradable fraction of VSS

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X(1+R)}{R} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan:

X_r = Konsentrasi resirkulasi

X_x = Konsentrasi MLSS (mg VSS/L)

R = Rasio resirkulasi

- Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+(f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)} \dots\dots\dots (2.39)$$

dengan:

Y_{obs} = Kuantitas lumpur yang dihasilkan setiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

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

K_d = Endogenous Respiration Coefficient (hari)

θ_c = umur lumpur (hari)

- Kontrol F/M rasio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times S_o}{Vol \times X_v} \dots\dots\dots (2.40)$$

dengan:

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

Q_{in} = Debit yang masuk ke activated sludge (m³/s)

S_o = Konsentrasi BOD dalam reaktor (kg/m³)

Vol = Volume reaktor (m³)

X_v = MLVSS (kg/ m³)

- Kebutuhan oksigen total

$$Keb. \text{ oksigen} = \frac{1,46 \times Q_{in} \times (C_o - C)}{10^3} \dots\dots\dots (2.41)$$

dengan:

Q_{in} = Debit yang masuk ke activated sludge (m³/s)

C_o = BOD influent (mg/l)

C_r = BOD effluent (mg/l)

- Kebutuhan power aerator

$$P = \frac{\text{Kebutuhan } O_2}{\text{Standard oxygenation efficiency}} \dots\dots\dots (2.42)$$

dengan:

P = Kebutuhan power aerator

Standar efisien oksigen = 1,8 kg O₂/kW.jam

2.2.3 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 bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya. Unit pengolahan tersier ini terdiri dari :

A. Secondary Clarifier

Clarifier adalah pengolahan lanjutan dari pengolahan terdahulu, pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri pathogen lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan *clarifier*. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga slude 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).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Kecepatan pengendapan partikel (v_s)
- $$v_s = \frac{H}{td} \dots\dots\dots (2.43)$$

dengan:

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H = tinggi clarifier (m)

t_d = waktu detensi (s)

- Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times 18 \times v}{g (sg - 1)}} \dots\dots\dots (2.44)$$

dengan:

D_p = diameter partikel (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/detik)

v = viskositas kimenatis (m²/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

sg = *Specific gravity*

- Kecepatan horizontal di bak (v_h)

$$v_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H} \dots\dots\dots (2.45)$$

dengan:

v_h = Kecepatan horizontal (m/s)

Q_{in} = Debit yang masuk ke clarifier (m³/s)

D = diameter clarifier (m)

H = tinggi clarifier (m)

- MLVSS dalam *clarifier*

$$MLVSS_{Clarifier} = MLVSS_{total} - MLVSS_{AS} \dots\dots\dots (2.46)$$

dengan:

$MLVSS_{AS}$ = Kebutuhan MLVSS yang tetap ada di bak activated sludge

- Massa Solid Total pada *Clarifier*

$$M_{solid\ total} = MLVSS_{Clarifier} \times V_{Clarifier} \dots\dots\dots (2.47)$$

dengan:

$M_{solid\ total}$ = massa solid total di clarifier

$MLVSS_{Clarifier}$ = kebutuhan MLVSS yang ada di clarifier

$V_{Clarifier}$ = volume di clarifier

2.2.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge - Treatment*)

Hasil dari pengolahan air limbah berupa lumpur yang diperlukan pengolahan secara khusus, agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

- Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau.
- Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

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

Jenis-jenis unit pengolahan lumpur meliputi:

A. *Sludge Thickener*

Sludge thickener adalah bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe *thickener* yang digunakan adalah *gravity thickener* dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem *gravity thickener* ini, lumpur diendapkan di dasar bak *sludge thickener* (Metcalf & Eddy, 2004).

B. *Sludge digester*

Sludge digester berfungsi untuk menstabilkan *sludge* yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang.

C. *Sludge drying bed*

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari *thickener*. 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.

Sludge drying bed merupakan metode pemisah air dari sludge yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. *Sludge drying bed* secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur/sludge yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (landfill) (Metcalf & Eddy, 2004).

Keuntungan penggunaan *sludge drying bed* diantaranya adalah:

- Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan
- Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan
- Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan

Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan *sludge drying bed* seperti yang telah disebutkan di atas, *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, di antaranya:

- Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya
- Dibutuhkan lahan yang lebih luas
- Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge*/lumpur

2.3. Persen Removal

Proses pengolahan limbah bertujuan untuk menurunkan beban pencemar pada limbah. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk presentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Setiap bangunan memiliki kemampuan untuk menurunkan beban pencemar yang berbeda-beda. Berikut merupakan presentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literasi yang ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 4 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Bangunan	Parameter yang Teremoval	Range % Removal	Literatur
<i>Grease Trap</i>	Minyak dan Lemak	70-93%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse 4th Edition, 497
Sedimentasi	TSS	80-90%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse 4th Edition, 497
	BOD	50-80%	
	COD	41,5%	Song, Z., Williams, C. J. M., & Edyvean, R.G. J. (200). <i>Technical Note Sedimentation of tannery Wastewater</i> . 34(7), 2171 – 2176
<i>Activated Sludge</i>	BOD	80-99%	Cavaseno, Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering, hal 15
	COD	50-95%	
	Sulfida	97-100%	
<i>Secondary Clarifier</i>	TSS	50-70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering ; Treatment and Reuse 4th Edition, hal 337 & 396

2.4. Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik.

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

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

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

- a. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

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

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

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

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

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