

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Santan Cream

Industri pengolahan kelapa adalah usaha dan/atau kegiatan di bidang pengolahan kelapa untuk dijadikan produk santan, produk tepung, minyak goreng kelapa, dan/atau produk olahan lainnya yang digunakan untuk konsumsi manusia dan pakan.

Setiap proses produksi pengolahan memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan bahan dasar yang diproduksi. Dalam proses pengolahan ini dihasilkan air limbah dan jenis buangan industri yang berbeda-beda pula. Berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, limbah cair dari Industri Santan Cream memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Industri Santan Cream

No	Parameter	Kadar Paling Tinggi
1	BOD	75 mg/L
2	COD	150 mg/L
3	TSS	100 mg/L
4	Minyak Lemak	15 mg/L
5	pH	6-9

(Sumber: Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah)

2.1.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendegradasi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). BOD dinyatakan dengan BOD5 hari pada suhu 20°C dalam satuan mg/L atau PPM (*Part per Million*). Proses pemecahan atau degradasi bahan organik secara sempurna pada suhu 20°C membutuhkan waktu lebih dari 20 hari. Tetapi agar lebih praktis diambil waktu 5 hari sebagai standar. Proses pendegradasian selama 5 hari ini dilakukan proses inkubasi dan

mendapatkan kira-kira 68% dari total BOD. Pemeriksaan BOD5 diperlukan untuk menentukan beban pencemar terhadap air buangan domestik atau industri, serta untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis (Sawyer & McCarty, 1978). Tingginya kadar BOD dalam suatu perairan biasanya ditunjukkan dengan tingginya kandungan mikroorganisme dalam perairan tersebut (Schaehter, 1992).

Kandungan BOD pada air limbah industri santan cream ini sebesar 675 mg/L, sedangkan berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah disebutkan bahwa kandungan BOD untuk industri santan cream maksimal adalah 75 mg/L untuk dibuang ke badan air.

2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Boyd, 1990). Hal ini disebabkan karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia menggunakan oksidator kuat Kalium Bikromat pada kondisi asam sedangkan pada kondisi panas menggunakan katalisator berupa Perak Sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991). Sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi.

Nilai COD merupakan pengukuran tingkat pencemaran oleh bahan organik. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan yang konvensional (Rachmawati, 2017).

Kandungan COD pada air limbah industri santan cream ini sebesar 1350 mg/L, sedangkan berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah disebutkan bahwa kandungan COD untuk industri santan cream maksimal adalah 150 mg/L untuk dibuang ke badan air.

2.1.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi adalah segala macam zat padat dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimum 2,0 mikrom dan dapat mengendap (Widyaningsih, 2011).

Kekeruhan air berhubungan erat dengan nilai TSS karena kekeruhan pada air salah satu penyebabnya adalah TSS. Zat tersuspensi yang ada di dalam air terdiri dari berbagai macam zat, misalnya pasir halus, tanah liat, dan lumpur alami yang merupakan bahan anorganik atau dapat pula berupa bahan-bahan organik yang melayang-layang di dalam air (Alaerts dan Santika, 1987).

Kadar TSS yang tinggi pada air sungai akan menyebabkan sungai menjadi keruh. Kekeruhan akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dasar sungai. Terhalangnya sinar matahari untuk masuk ke dasar sungai menyebabkan proses fotosintesis terganggu. Proses fotosintesis yang terganggu mengakibatkan turunnya kadar oksigen terlarut yang dilepas ke dalam air sungai oleh tanaman. Turunnya kadar oksigenterlarut dalam air sungai akan mengganggu ekosistem sungai tersebut. Kadar oksigen terlarut di dalam air sungai yang menurun secara terus menerus akan mengakibatkan tanaman serta organisme yang berada di sungai tersebut lama-lama akan mengalami kematian (Alaerts & Sumestri, 2004).

Kandungan TSS pada air limbah industri santan cream ini sebesar 900 mg/L, sedangkan berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah disebutkan bahwa kandungan TSS untuk industri santan cream maksimal adalah 100 mg/L untuk dibuang ke badan air.

2.1.4 Minyak dan Lemak

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan dari lemak pada umumnya tercampur dengan berbagai macam trigliserida (ester gliserol dari asam lemak). Minyak dan lemak juga sering pada tumbuhan dan hewan, yang merupakan komponen penting bagi kehidupan manusia ((EPA), *Waste Water Treatment Manual: Primary, Secondary, and Tertiary Treatment*, 1997).

Setiap aspek pengolahan awal perlu mempertimbangkan kehadiran minyak dan lemak dalam limbahnya. Hal ini disebabkan karena kehadiran kandungan minyak dan lemak dalam limbah industri dapat menghasilkan banyak permasalahan dalam proses pengolahan limbah industri. Menurut Terrence P. Driscoll and Friends 2008, permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri antara lain :

1. Tersumbatnya saluran pembawa

2. Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa
3. Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya
4. Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah
5. Sukarnya pepadatan dan pengurangan kandungan air pada proses biosolid

Minyak dan lemak pada umumnya hadir pada limbah industri dalam bentuk minyak secara umum (yang pada umumnya mengapung di atas air), minyak dalam bentuk emulsi, dan minyak yang tercampur dengan padatan tertentu. Untuk minyak secara umum dapat dipisahkan secara gravitasi, hal itu disebabkan karena specific gravity (s) minyak berada pada nilai yang lebih kecil dari 1. Minyak hasil olahan petroleum dapat dipisahkan dari limbah dengan skimmer yang digerakkan pada bagian atas bak sedimentasi, termasuk minyak dari proses refinery, pabrik petrochemical, manufaktur logam, dan laundry (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008).

Minyak yang teremulsi merupakan campuran minyak yang bersifat stabil, yang tidak dapat secara cepat dipisahkan dengan proses gravitasi tanpa penambahan bahan kimia tertentu (bahan kimia deemulsifikasi). Minyak yang teremulsi dapat berbentuk fisika maupun kimiawi. Emulsi fisika merupakan campuran dari air dan minyak pekat atau bahan lain yang berminyak yang pada umumnya tidak terlarut dalam air, mereka juga biasanya terbentuk secara mekanik (melalui proses pemompaan sentrifugal secara cepat). Emulsi fisika juga pada umumnya tidak terlalu stabil (lebih mudah dipisahkan) dibandingkan dengan emulsi secara kimia yang hanya dapat dipisahkan dengan pemanasan atau dengan pembubuhan koagulan (seperti aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008).

Emulsi kimiawi banyak dijumpai pada cairan yang digunakan pada bagian mesin pada industri otomotif dan industri perakitan mesin. Cairan ini biasanya merupakan campuran dari beberapa bahan kimia yang tercampur secara stabil (petroleum, mineral dan air) oleh karena pembubuhan agen emulsifier. Untuk memisahkan minyak dari air, agen emulsifier harus dipecah dengan penambahan

senyawa asam pada limbah (seperti aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008).

Menurut Arizona Department of Environmental Quality, 1996, tipe dan definisi bentuk kehadiran minyak dan lemak dalam limbah antara lain :

1. Minyak bebas, merupakan minyak yang hadir dalam air namun tidak tercampur akibat perbedaan specific gravity (s) yang terjadi di antaranya. Dapat dipisahkan secara gravitasi
2. Emulsi fisika, merupakan minyak yang tercampur ke dalam air secara stabil dan membentuk padatan pada ukuran 5-20 μm . Terbentuk akibat proses pemompaan pada pipa dan valve
3. Emulsi kimia merupakan minyak yang tercampur dalam air dan membentuk padatan pada ukuran $< 5 \mu\text{m}$. Terbentuk akibat kehadiran deterjen, senyawa basa, chelating agent, dan protein
4. Minyak terlarut, merupakan minyak yang terlarut dalam air. Dapat dideteksi dengan analisa infrared dan sebagainya
5. Padatan berminyak, merupakan minyak yang menempel pada permukaan padatan pada limbah.

Berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah disebutkan bahwa kandungan paling tinggi untuk minyak dan lemak untuk industri santan cream adalah 15 mg/L untuk dibuang ke badan air. Sedangkan kandungan minyak dan lemak pada air limbah industri santan cream ini sebesar 12 mg/L atau dalam kondisi di bawah batas maksimal sehingga kandungan minyak dan lemak air limbah industri santan cream aman untuk dibuang ke badan air.

2.1.5 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 0-14. Kisaran nilai $\text{pH} < 7$ termasuk kondisi asam dan $\text{pH} > 7$ termasuk kondisi basa, sedangkan $\text{pH} 7$ termasuk kondisi netral (Ningrum, 2018).

Derajat keasaman menunjukkan perlu atau tidaknya pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) untuk mencegah terjadinya gangguan pada proses pengolahan

limbah cair secara konvensional. Derajat keasaman yang terlalu tinggi (basa) atau terlalu rendah (asam) dapat memperburuk emulsifikasi minyak dalam air.

Secara umum, dapat dikatakan bahwa pH limbah cair domestik adalah mendekati netral (Soeparman, 2002). Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya berada pada rentang antara 6,5 - 8,5. PH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf & Eddy, 2004).

Berdasarkan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah disebutkan bahwa kandungan pH untuk industri santan cream adalah 6 - 9 untuk dibuang ke badan air. Sedangkan kandungan pH pada air limbah industri santan cream ini sebesar 8 atau dalam kondisi netral sehingga pH air limbah industri santan cream aman untuk dibuang ke badan air.

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air tergantung dari jenis kandungan limbahnya serta tingkat perlakuan terhadap sifatnya. Tujuan dari pengolahan air limbah adalah mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam. Menurut Sugiharto 1987, jika dilihat dari tingkat perlakuannya, proses pengolahan air limbah terdiri dari beberapa tahapan dalam pengolahan air limbah, yakni :

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

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre-Treatment)

Sebelum mengalami proses pengolahan perlu dilakukan pembersihan agar mempercepat dan memperlancar proses pengolahan selanjutnya. Adapun kegiatan tersebut berupa pengambilan benda terapung dan pengambilan benda yang mengendap seperti pasir (Sugiharto, 2005:96).

Tahap pengolahan ini melibatkan proses fisik yang bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan minyak dalam aliran air limbah. Beberapa proses pengolahan yang berlangsung pada tahap ini ialah *screen* dan *grit removal*, *equalization* dan *storage*, serta *oil separation* (Kencanawati, 2016).

Pengolahan pendahuluan digunakan untuk memisahkan padatan kasar, mengurangi ukuran padatan, memisahkan minyak atau lemak, dan proses menyetarakan fluktuasi aliran limbah pada bak penampung. Unit yang terdapat dalam pengolahan pendahuluan adalah (Soeparman dan Suparmin, 2002:106).

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

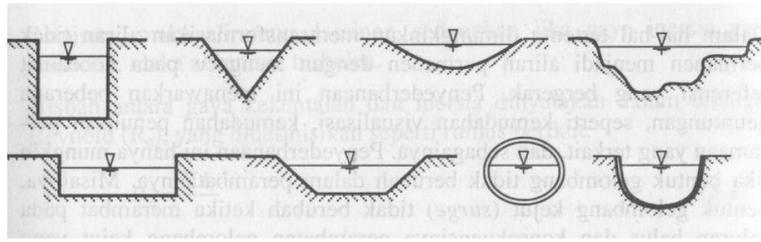
- Menyisihkan padatan kasar
- Mereduksi ukuran padatan
- Menyisihkan pasir
- Menyisihkan padatan yang mengapung dan mengendap

2.2.1.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang menyalurkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan atau slope (m/m).

Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Karena terbuka sehingga terdapat kontak dengan udara langsung. Saluran terbuka memerlukan tempat yang luas dan biasanya digunakan untuk drainase air hujan atau limbah yang tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan (Wesli, 2008). Ada beberapa macam bentuk dari saluran

terbuka, diantaranya trapesium, segitiga, segiempat, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.



Gambar 2. 1 Potongan Saluran Pembawa Terbuka

(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/14415070/>)

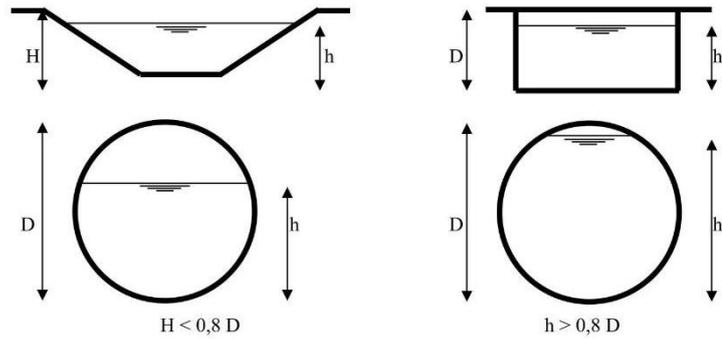


Gambar 2. 2 Saluran Pembawa

(Sumber : https://i.ytimg.com/vi/msDrYHc_mHw/maxresdefault.jpg)

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. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).

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



Gambar 2. 3 Potongan Saluran Pembawa Tertutup dan Terbuka

(Sumber : <https://www.slideshare.net/jefrymaulana7/01-hidrolika>)

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah air limbah dari proses produksi dialirkan menuju bak penampung melalui saluran pembawa. Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang saluran pembawa :

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / Slope = $1 \cdot 10^{-3}$ m/m
- Freeboard = 10 - 30%
- Dimensi saluran (Ws) = B = 2H

Rumus yang digunakan :

- 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 dalam saluran pembawa (m/detik)

- Kedalaman Saluran Pembawa (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 Total)

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

Freeboard = tinggi jagaan / jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air 10-30%

- Diameter Pipa Inlet (D)

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

$$A = \sqrt{\frac{4 \times A \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

D = Diameter pipa (m)

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Cek Kecepatan (V)

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

V = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/detik)

- Kemiringan Saluran Pembawa (S)

$$h = \frac{v^2}{2 \times g}$$

Keterangan :

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

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

g = percepatan gravitasi (m/s²)

$$Hf = n \times L$$

Keterangan :

Hf = headloss saluran pembawa (m)

n = koefisien manning bahan

L = panjang saluran pembawa (m)

$$S = h \text{ statis} \times Hf$$

Keterangan :

S = kemiringan saluran / slope (m/m)

Hf = headloss saluran pembawa (m)

h = kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

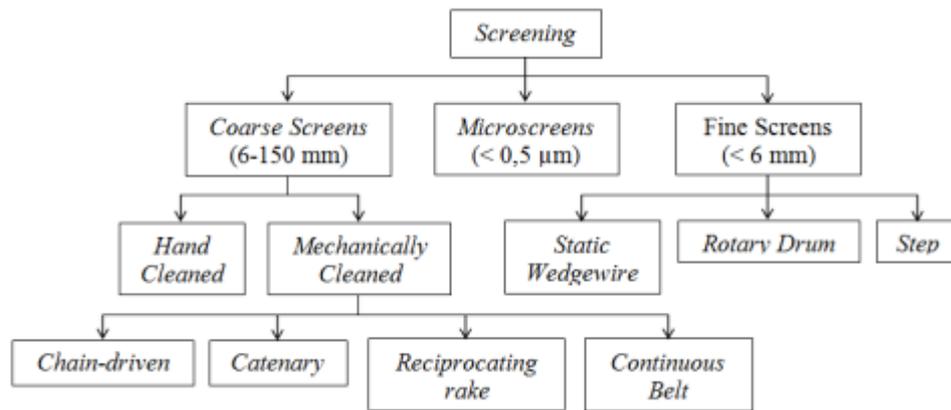
2.2.1.2 Screening (Penyaringan)

Screening merupakan unit pertama yang digunakan pada pengolahan air limbah. Screening digunakan dalam menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. (*United States Environmental Protection Agency, 2000*). Fungsi dari screen adalah:

1. Menyaring benda-benda padat dan kasar yang ikut terbawa dalam air buangan agar benda-benda tersebut tidak mengganggu aliran dalam saluran dan membahayakan atau merusak alat-alat, misalnya pompa, valve dan lainnya, serta mengganggu proses pengolahan air buangan. Benda-benda padat dan kasar ini antara lain plastik, batang kayu kecil, logam dan sebagainya.
2. Mencegah timbulnya kerusakan atau penyumbatan (*clogging*) pada saluran dan pompa

Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

1. Kerusakan pada alat pengolahan,
2. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan
3. Kontaminasi pada aliran air



Gambar 2. 4 Bagian Jenis-jenis Screen

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, diantaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inch). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inch). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf & Eddy, 2003).

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).

Berikut ini tipe-tipe dari *Screen* :

1. *Coarse Screen* (Saringan 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, di mana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin.



Gambar 2. 5 Manual Bar Screen

(Sumber : <http://site.iugaza.edu.ps/frabah/files/2011/09/2.-Preliminary-treatment-.pdf>)

Tabel 2. 2 Kriteria Desain Unit Coarse Screen

Parameter Ukuran Batang	US Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	unit	manual	mekanik	unit	manual	Mekanik
UKURAN BATANG						
Lebar	Inch	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	Inch	5 - 15	5 – 15
Kedalaman	Inch	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	Inch	25 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	Inch	1,0 – 2,0	0,6 – 3,0	Inch	25 – 50	15 – 75
Kemiringan terhadap vertical	°	30° - 45°	0° - 30°	°	30° - 45°	0° - 30°
KECEPATAN						
Maksimum	Ft/s	1,0 – 2,0	2,0 – 3,25	Ft/s	0,3 – 0,6	0,6 – 1,0
Minimum	Ft/s		1,0 – 1,6	Ft/s		0,3 – 0,5
Headloss	Inch	6	6 – 24	Ft/s	150	150 - 600

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



Gambar 2. 6 Mechanical Bar Screen

(Sumber : <https://www.jyotihydrotech.com/mechanical-bar-screen>)

2. *Fine Screen* (Saringan Halus)

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 selanjutnya.



Gambar 2. 7 Fine Screen

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/fine-bar-screen-10313991573.html>)

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

Tabel 2. 3 Persen Removal Fine Screen

Jenis Screen	Luas Permukaan		Persen Removal	
	Inch	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%

(Sumber: Metchalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse*, Fourth Edition)

Tabel 2. 4 Kriteria Fine Screen (Saringan Halus)

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch	mm		
Miring (diam)	Sedang	0,01 – 0,10	0,25 - 2,50	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5,0	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan pendahuluan
	Sedang	0,01 – 0,10	0,25 – 2,50	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan primer
	Halus	-	6×10^{-3} - 35×10^{-3}	<i>Stainless steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Menyisihkan residual dari <i>suspended solid</i> sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 – 0,17	1,6 – 4,0	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch			mm
Tangential	Halus	0,0475	1,2	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i> Gabungan dengan saluran air hujan	

(Sumber: Metcalf and Eddy. 2003. "Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse", 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)

Rotary Drum Screen memiliki media penyaring yang dibangun dalam silinder yang berputar. *Rotary Drum Screen* pada umumnya memiliki konstruksi yang berbeda dalam penempatan media penyaring di dalamnya, akan tetapi pada umumnya media penyaring diletakkan mengikuti arah aliran air yang melalui media screen. Air buangan biasanya akan dialirkan melalui *rotary drum screen* hingga akhir silinder dan melalui screen yang terpasang pada ujung *rotary drum screen*. Padatan yang tersaring pada screen selanjutnya akan dikumpulkan pada sebuah wadah untuk kemudian disisihkan dari unit proses pengolahan air buangan.

Rotary Drum Screen pada umumnya digunakan pada air buangan yang memiliki debit yang berkisar antara 0,03-0,8 m³/s dengan rata-rata penggunaan pada debit 0,13 m³/s *Rotary Drum Screen* dapat dijumpai pada unit pengolah air buangan dengan diameter antara 0,9-2 m dan panjang antara 1,2-4 m.

Rumus yang digunakan :

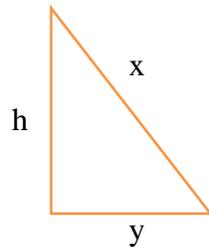
- Tinggi bar screen

$$H = H \text{ saluran} + \text{freeboard (15\%)}$$

Keterangan :

H saluran = tinggi saluran (m)

- Dimensi bar screen



$$\theta = 75^\circ$$

- Panjang kisi (x)

$$X = \left(\frac{y}{\sin \alpha} \right)$$

Keterangan :

Sin α = Kemiringan kisi/screen

y = Tinggi screen = Kedalaman total saluran pembawa (m)

x = Panjang kisi (m)

- Jumlah kisi/batang

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

Keterangan :

Ws = Lebar saluran (m)

n = Jumlah kisi

d = Lebar kisi (m)

r = Jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$Wc = Ws - n \times d$$

Keterangan :

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Ws = lebar bukaan kisi = lebar saluran pembawa (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui screen

$$Vi = \left(\frac{Q}{Wc \times h} \right)$$

Keterangan :

Vi = kecepatan yang melalui screen (m/s)

Q = debit limbah (m³/s)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

H = tinggi bar screen (m)

- Headloss pada bar screen

- saat non clogging

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{(V_i^2 - v^2)}{2 \times g} \right)$$

- saat clogging

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{(V_{ic}^2 - v^2)}{2 \times g} \right)$$

$$V_{ic} = 2 \cdot V_i$$

Keterangan :

H_f = headloss (m)

C = koefisien saat non clogging

C_c = koefisien saat clogging (0,6 untuk clogged screen)

V_{ic} = kecepatan saat clogging (m/s)

V_i = kecepatan yang melalui screen (m/s)

v = kecepatan perencanaan (m/s)

(Sumber: Metchalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316)

3. Micro Screen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat/material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microscreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan *microscreen* tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan

dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun faktor bentuk screen antara lain sebagai berikut ini :

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen	Bentuk
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber : Qasim, 1985)

Rumus yang digunakan :

- Jumlah batang kisi (n)

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

Keterangan :

Ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar screen (m)

- Lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

d = lebar screen (m)

- Kecepatan pada Bar Screen

$$Vi = \frac{Q}{Wc \times H \text{ air}}$$

Keterangan :

Vi = kecepatan melalui kisi (m/s)

Q = debit yang melalui kisi (m³/s)

Wc = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

- Tinggi Kisi (h)

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

Keterangan :

H = kedalaman saluran (m)

- Panjang kisi (x)

$$x = \left(\frac{h}{\sin \alpha} \right)$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45° - 60°)

- Jarak Kemiringan kisi (L)

$$L = \cos \alpha \cdot x$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45° - 60°)

x = panjang kisi (m)

- Headloss pada Bar Screen (saat non clogging)

$$x = \frac{1}{Cc} x \left(\frac{Vi^2 - V^2}{2 x g} \right)$$

Keterangan :

Hf = headloss (m)

Vi = kecepatan melalui kisi (m/s)

V = kecepatan melalui kisi (m/s)

Cc = koefisien headloss untuk bar screen saat clogging (0,6)

- Headloss pada Bar Screen (saat clogging)

$$x = \frac{1}{Cc} x \left(\frac{Vic^2 - V^2}{2 x g} \right)$$

Keterangan :

Hf = headloss (m)

Vic = kecepatan melalui kisi saat clogging

Vic = Vi x 2 (m/s)

V = kecepatan melalui kisi (m/s)

C_c = koefisien headloss untuk bar screen saat clogging (0,6)

(Sumber : Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. hal 320)

2.2.1.3 Bak Penampung

Bak Penampung merupakan sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Pada unit ini digunakan sebagai penyeimbang, sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah ketika air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan.

Cara kerja bak penampung adalah ketika air limbah yang keluar dari proses produksi maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Di sini debit air limbah diatur. Sehingga tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,6 – 2,5 m/s
- Freebord = 10 - 20%
- Waktu detensi (td) = 24 jam
- Kedalaman = 4 meter (optimal)

Rumus yang digunakan :

- Volume bak penampung (V)

$$V = Q \times td$$

Keterangan :

V = volume bak penampung (m^3)

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

td = waktu detensi

- Ketinggian total bak penampung (H total)

$$H \text{ total} = H + (10 - 20\% \times H)$$

Keterangan :

H total = kedalaman bak penampung (m)

H = ketinggian air dalam bak penampung (m)

Freebord = tinggi jagaan/jarak vertical dari puncak saluran ke permukaan air (10-20%)

- Dimensi bak penampung

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

Keterangan :

V = volume bak penampung (m³)

P = panjang bak penampung (m), dengan 2 x L

L = lebar bak penampung (m)

H = ketinggian bak penampung (m)

2.2.2 Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

2.2.2.1 Grease Trap

Grease Trap adalah alat perangkap *grease* atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun *stainless steel* sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

Grease Trap juga dikenal sebagai pengecat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar lemak/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah/dicerma dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun, jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke

lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada *grease trap*. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada *grease trap* dihisap oleh pipa penghisap melalui *manhole*.

Berikut ini adalah jenis-jenis *Grease Trap* yang paling umum :

1. *Grease trap* pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. *Grease trap* ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan lemak akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
2. Tangki *in-ground* berukuran besar yang biasanya berukuran 500-2000 galon. Unit unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat/trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, lemak dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
3. Sistem GRD (*Grease Recovery Devices* atau Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran = 2-6 m/jam
- Waktu tinggal = 5-20 menit
- Terdiri dari 2 kompartemen
- Kompartemen 1 = 2/3 dari total panjang
- Kompartemen 2 = 1/3 dari total panjang

- Kandungan solid kering= 4-8%
- Densitas lumpur = 1.020 – 1.030 kg/m

(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Rumus yang digunakan :

- Volume bak

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/s)

Td = waktu detensi (detik)

- Luas area yang dibutuhkan

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

Rasio P : L = 3 : 1

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

P = panjang total (m)

L = lebar (m)

- Panjang kompartemen

Panjang kompartemen 1 = 2/3 P

Panjang kompartemen 2 = 1/3 P

- Cek kecepatan aliran

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

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

A = luas permukaan baru (m²)

- Kedalaman tangki

$$\text{Kedalaman aktif} = \frac{V}{A'}$$

Keterangan :

V = volume bak (m³/detik)

A' = luas permukaan baru (m²)

H = 0,5 m

Tinggi area pengendapan = 0,3 m

Tinggi scum = 0,2 m

Freeboard = 0,3 m

Tinggi total = 1,3 m

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan :

L = lebar (m)

H = tinggi (m)

- Kecepatan Pengapungan

$$V' = \frac{g}{18\eta} \times D^2 \times (\rho - \rho')$$

Keterangan :

g = gravitasi

Dp = diameter partikel

ρ = massa jenis minyak (kg/m³)

η = viskositas dinamik minyak (poise)

- Cek bilangan Reynold

$$Nre = \frac{\rho \times R \times v'}{\eta \times m}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis air (gr/cm³)

R = jari-jari hidrolis (cm)

V' = kecepatan pengapungan (cm/s)

μ_m = viskositas kinematis minyak (cm²/detik)

- Efisiensi pengolahan

Konsentrasi minyak lemak dalam effluent

$$= (1 - \text{efisiensi}) \times \text{konsentrasi minyak}$$

2.2.2.2 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 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 apabila : $H^+ > H^-$ dan $pH < 7$

Larutan dikatakan netral apabila : $H^+ = H^-$ dan $pH = 7$

Larutan dikatakan basa apabila : $H^+ < H^-$ dan $pH > 7$

Ada beberapa cara menetralkan kelebihan asam atau pun basa dalam limbah cair, yaitu :

- Pencampuran
- 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

A. Mencampur air limbah yang bersifat asam dengan basa

Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2.

Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktor titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalen sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif,

reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH, Na₂CO₃ atau NH₄OH.

B. Mencampur air limbah yang bersifat basa dengan asam

Banyak bahan asam kuat yang efektif digunakan untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa, biasanya yang digunakan adalah sulfuric atau hydrochloric acid. Asap gas yang terdiri dari 14% CO₂ dapat digunakan untuk netralisasi dengan melewatkan gelembung-gelembung gas melalui air limbah CO₂ ini terbentuk dari carbonic acid yang dapat bereaksi dengan basa. Reaksi ini lambat tapi cukup untuk mendapatkan pH antara 7-8. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan *spray tower*.

Adapun beberapa sistem yang digunakan untuk bangunan netralisasi ini adalah :

- Sistem *batch*, yang digunakan untuk aliran air limbah hingga 380 m³/hari
- Sistem *continue*, dengan pH control dibutuhkan udara untuk pengadukan dengan minimum aliran air 1-3 ft³/mm, ft² atau 0,3-0,9 m³/mm, m² pada kedalaman 9 ft (2,7 m). Menggunakan sistem pengaduk mekanis, di mana daya yang digunakan 0,2-0,4 Hp/ribu.gal (0,04 – 0,08 kW/m³) (Wesley Eckemfelder, 2000).

2.2.2.3 Koagulasi – Flokulasi

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). 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 Al³⁺) dengan ion negatif dari partikel (misal OH⁻) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca²⁺) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO₄²⁻) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016).

Sejara 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 gambar di bawah ini.

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

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

Apabila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain :

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatik) hingga suatu titik dimana gaya Van Der Waals dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain :

- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan
- Jumlah dan karakteristik koloid
- Derajat keasaman air (pH)
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle
- Temperatur air
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur
- Karakteristik ion-ion dalam air

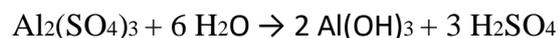
Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (gravitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan koagulan

atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. Menurut Metcalf & Eddy, 2004, jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut :

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

Alumunium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, 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 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000).

Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut :



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

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama

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

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi (pH > 10)

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

Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8 - 11

5. Koagulan Sodium Aluminate (NaAlO_2)

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

6. Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC)

Polimer alumunium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah alumunium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan

rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH.

PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun, terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengerahan dalam pemakainnya karena bersifat higrokopis.

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700- 1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynolds & Richards, 1996).

2. Pengadukan Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduqi & Assomadi, 2016). Waktu pengadukan lambat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700- 1000/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynolds & Richards, 1996).

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Pengadukan Mekanis

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

- Paddle Impeller

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat blades. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter di atas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20- 150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynolds & Richards, 1996).

- Turbine Impeller

- Propeller Impeller

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

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis, yaitu gradient kecepatan (G) dan td. Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi.

2. Pengadukan Hidrolis

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

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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya (Reynolds & Richards, 1996).

Kriteria Perencanaan :

Bak Pembunuh Koagulan

- Dosis alum = 75 – 250 mg/L
- Kadar air dalam alum cair = 71,2 – 74,5 %
- Massa jenis alum (ρ') = 2,67 kg/L
- Massa jenis air (ρ) = 996,26 kg/m³
- Viskositas absolut = 0,0008004 N.s/m²
- Viskositas kinematis = 0,008004 cm²/s
- Waktu detensi (td) = 20-60 detik
- NRe > 4.000
- Gradien kecepatan (G) = 700-1000 per detik
- Kecepatan putaran paddle (n) = 20-150 rpm
- Jarak impeller dari dasar = 30-50% diameter impeller
- Lebar impeller = 1/6 – 1/10 diameter impeller
- Diameter impeller = 50-80% diameter bak

Bak Koagulasi

- Massa jenis alum (ρ') = 2,67 kg/L
- Massa jenis air (ρ) = 996,26 kg/m³

- Viskositas absolut = 0,0008004 N.s/m²
- Viskositas konematis = 0,008004 cm²/s
- Waktu detensi (td) = 20-60 detik
- NRe > 4.000
- Gradien kecepatan (G) = 700-1000 per detik
- Kecepatan putaran paddle (n) = 20-150 rpm
- Jarak impeller dari dasar = 30-50% diameter impeller
- Lebar impeller = 1/6 – 1/10 diameter impeller
- Diameter impeller = 50-80% diameter bak

Bak Flokulasi

- Gradien kecepatan (G) = 50-100 per detik
- Waktu pengadukan = 20-40 menit
- Kecepatan putaran impeller = 20-150 rpm
- H air = 1-1,25 Diameter bak
- Diameter impeller = 50-80% Diameter bak
- Lebar impeller = 1/6 – 1/10 Diameter impeller
- Viskositas absolut = 0,0008004 N.s/m²
- Jarak impeller dari dasar bak = 30-50% Diameter impeller

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bak Pembubuh Koagulan

- Kebutuhan koagulan harian

$$Kebutuhan\ koagulan = dosis\ koagulan \times Q$$

Keterangan :

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan yang dibutuhkan (kg/hari)

Dosis koagulan = dosis optimum koagulan (mg/L)

Q = debit air limbah (m³/s)

- Kebutuhan koagulan sesungguhnya

$$Kebutuhan = \frac{100\%}{kadar\ alum\ pasaran} \times kebutuhan\ alum\ per\ hari$$

Keterangan :

Kebutuhan alum sesungguhnya= (kg/hari)

Kebutuhan alum per hari = jumlah koagulan yang dibutuhkan (kg/hari)

- Debit koagulan per hari

$$Q \text{ koagulan} = \frac{\text{kebutuhan koagulan sesungguhnya}}{\rho \text{ koagulan}} \times td$$

Keterangan :

Q koagulan = debit koagulan (L/hari)

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan yang dibutuhkan per hari (kg/hari)

ρ koagulan = massa jenis koagulan (kg/L)

td = periode / lama pelarutan (hari)

- Debit air pelarut

$$Q \text{ pelarut} = \frac{100 - \text{pelarut}}{\% \text{ pelarutan}} \times Q \text{ koagulan}$$

Keterangan :

Q air pelarut = air yang dibutuhkan untuk melarutkan koagulan (m³/hari)

Kadar air pelarut = persen kandungan air dalam larutan

Q koagulan = debit koagulan per hari (m³/hari)

- Total debit tangki pembubuh

$$Q \text{ total} = Q \text{ koagulan} + Q \text{ pelarut}$$

Keterangan :

Q koagulan = volume koagulan per hari (m³/hari)

Q pelarut = volume air pelarut per hari (m³/hari)

- Volume tangki pembubuh (pembubuhan dilakukan 1 hari)

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

Keterangan :

Q total = debit total tangki pembubuh (m³/hari)

td = periode / lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air pada bak pembubuh

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

Keterangan :

V = volume tangki pembubuh (m³)

D = diameter tangki pembubuh (m)

H air = kedalaman air dalam bak pembubuh (m)

- Supply tenaga air / daya pengaduk

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

Keterangan :

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak 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)

Tabel 2. 5 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu pengadukan, td (detik)	Gradien kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
≥ 50	700

(Sumber : Reynolds, 1996, page 184)

- Diameter impeller

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

Keterangan :

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

P = supply tenaga ke air (Watt)

KT = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

- η = kecepatan putaran (rps)
- ρ = massa jenis air (kg/m^3)

- Jarak Impeller dengan dasar (H_i)

$$H_i = \% \times D_i$$

Keterangan :

H_i = jarak impeller dengan dasar (m)

D_i = diameter impeller

% = persentase diameter (30-50% D_i)

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

PWS Publishing Company)

- Cek diameter impeller

$$Cek D = \frac{D_{impeller}}{D_{tangki}} \times 100\%$$

Keterangan :

$D_{impeller}$ = diameter impeller tangki (m)

D_{tangki} = diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 185. Boston:

PWS Publishing Company).

- Lebar Impeller

$$W_i = \frac{1}{x} \times D_{tangki}$$

Keterangan :

W_i = lebar impeller (m)

D_{tangki} = diameter tangki (m)

Lebar Impeller = 1/6 – 1/10

- Cek bilangan Reynold

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

Keterangan :

NRe = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

η = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

Bilangan Reynold dalam pengadukan cepat = Nre > 4.000 (Turbulen)

Bilangan Reynold dalam pengadukan lambat = Nre < 2.000 (Laminer)

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

Bak Koagulasi

- Volume bak

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

Keterangan :

Volume limbah = volume air limbah yang diolah di bak koagulasi (m³)

Volume koagulan = volume koagulan yang digunakan bak pembunuh (m³)

- Dimensi bak koagulasi

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

H = 1 - 1,25 D

Keterangan :

V total = volume air limbah + volume koagulan

- Supply tenaga air / daya pengaduk

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

Keterangan :

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak (m³)

- Diameter impeller

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

Keterangan :

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

P = supply tenaga ke air (Watt)

KT = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

- Jarak Impeller dengan dasar (Hi)

$$Hi = \% \times Di$$

Keterangan :

Hi = jarak impeller dengan dasar (m)

Di = diameter impeller

% = persentase diameter (30-50% Di)

- Cek diameter impeller

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

Keterangan :

D impeller = diameter impeller tangki (m)

D tangki = diameter tangki (m)

Cek D harus memenuhi range 30-50%

- Lebar Impeller

$$Wi = \frac{1}{x} \times D \text{ impeller}$$

Keterangan :

Wi = lebar impeller (m)

Di = diameter impeller (m)

Lebar Impeller = 1/6 – 1/10 Di

- Cek bilangan Reynold

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

Keterangan :

NRe = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

n = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Q outlet

$$Q_{\text{outlet}} = Q_{\text{limbah}} + Q_{\text{pembubuhan koagulan}}$$

- Pipa Outlet menuju bak Flokulasi

$$v_{\text{rencana}} = 0,3 - 0,6 \text{ m/s}$$

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

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

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

- Headloss Mayor

$$H_f = \left(\frac{Q}{(0,2784 \times C \times D^{2,63})} \right)^{1,85} \times L$$

- Headloss Minor

$$\text{elbow } k = 0,75$$

$$H_f = \frac{n \times k \times v^2}{2 \times g}$$

$$\text{tee } k = 0,35$$

$$H_f = \frac{n \times k \times v^2}{2 \times g}$$

$$\text{gate valve } k = 0,12$$

$$H_f = \frac{n \times k \times v^2}{2 \times g}$$

- Hf total = Hf mayor + Hf minor

Bak Flokulasi

- Volume bak

$$V = Q \times td$$

Keterangan:

Q = debit air limbah + debit koagulan (m³/s)

td = waktu tinggal (detik)

- Dimensi bak

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

H = 1 - 1,25 D

H total = H + 20% H

- Supply tenaga air / daya pengaduk

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

Keterangan :

P = Supply tenaga ke air (Watt)

G = Gradien kecepatan (L/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak pembunuh (m³)

- Diameter impeller

$$Di = \% \times \text{Diameter bak}$$

% = (50-80% Diameter bak)

- Jarak Impeller dengan dasar (H i)

$$Hi = \% \times Di$$

Keterangan :

Hi = jarak impeller dengan dasar (m)

Di = diameter impeller

% = 30-50%

- Lebar Impeller

$$Wi = \frac{1}{x} \times D \text{ impeller}$$

Keterangan :

Wi = lebar impeller (m)

Di = diameter impeller (m)

Lebar Impeller = 1/6 – 1/10

- Cek bilangan Reynold

$$NRe = \frac{Di^2 \times \eta \times \rho}{\mu}$$

Keterangan :

NRe = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

η = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Diameter Pipa Inlet

v rencana = 0,3 – 0, m/s

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

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

- Diameter Pipa Outlet

v rencana = v inlet

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

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

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

- Headloss Mayor

$$Hf = \left(\frac{Q}{(0,2784 \times C \times D^{2,63})} \right)^{1,85} \times L$$

- Headloss Minor

elbow k = 0,75

$$Hf = \frac{n \times k \times v^2}{2 \times g}$$

tee k = 0,35

$$H_f = \frac{n \times k \times v^2}{2 \times g}$$

- $H_f \text{ total} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$

2.2.2.4 Bak Pengendap I

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012). Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan coloumn settling test dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi 1 dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin
2. Suhu udara permukaan
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air
4. Suhu terstratifikasi
5. Bilangan Eddy

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

Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *Surface Loading* (Beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan

kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2003).

2.2.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

2.2.3.1 Activated Sludge (Lumpur Aktif)

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

a. Konvensional

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

➤ Tangki Aerasi

Pada saat oksidasi aerobik material organik dilakukan dalam tangki ini, Efluent pertama masuk dan tercampur dengan Lumpur Aktif Balik (LAB) atau (*Return Activated Sludge = RAS*) membentuk lumpur campuran (*mixed liquor*), yang mengandung padatan tersuspensi sekitar 1.500-2.500 mg/L. Aerasi dilakukan secara mekanik. Karakteristik proses lumpur aktif adalah adanya daur ulang dari biomassa. Keadaan ini membuat waktu tinggal sel (biomassa) menjadi lebih lama dibanding waktu tinggal hidrauliknya (Sterritt dan Lester, 1988). Keadaan ini membuat sejumlah besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik secara singkat. Waktu tinggal di tangki aerasi berkisar 4 - 8 jam.

➤ Tangki Sedimentasi

Tangki ini digunakan untuk sedimentasi flok mikroba (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi. Seperti disebutkan diawal bahwa sebagian dari lumpur dalam tangki penjernih didaur ulang kembali dalam bentuk LAB ke dalam tangki aerasi dan sisanya dibuang

untuk menjaga rasio yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (F/M Ratio).

Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985; Verstraete dan van Vaerenbergh, 1986) adalah sebagai berikut:

a. *Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)*

Isi tangki aerasi dalam sistem lumpur aktif disebut sebagai *mixed liquor* yang diterjemahkan sebagai lumpur campuran. MLSS merupakan jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme. MLSS ditentukan dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter dikeringkan pada temperatur 105°C, dan berat padatan dalam contoh ditimbang

b. *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)*

Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence, 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600 - 650°C

c. *Food to microorganism ratio (F/M Ratio)*

Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk ke dalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari (Curds dan Hawkes, 1983; Nathanson, 1986).

b. **Non-Konvensional**

➤ **Step Aeration**

- Termasuk *type plug flow* dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme yang menurun menuju outlet.

- Pada inlet air buangan akan masuk melalui 3 – 4 titik tangki aerasi yang bertujuan menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dalam mengurangi tingginya kebutuhan oksigen dititik yang paling awal.
 - Keuntungan dari *step aeration* ialah memiliki waktu detensi yang lebih pendek.
- **Tempered Aeration**
- Sama dengan step aerasi, namun pada *tempered* aerasi ini memiliki injeksi udara di titik awal yang lebih tinggi
- **Contact Stabilization**
- Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu :
- *Contact tank*, berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik agar dapat memproses lumpur aktif
 - *Reaeration tank*, berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah di *adsorbs* (proses stabilisasi)

Rumus yang digunakan :

- Partikulat BOD Effluent

$$BOD_{ss} = BOD_{eff} \times \left(\frac{MLVSS}{MLSS} \right) \times FB$$

$$BOD_{terlarut} = BOD_{effluent} \times BOD_{ss}$$

Keterangan:

VSS/SS = ratio perbandingan

VSS dan SS FB = Fraksi biodegradable VSS

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, Page 29)

- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

$$E\% = \frac{BOD_{influent} - BOD_{terlarut}}{BOD_{influent}}$$

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 30)

- Debit resirkulasi

$$Q_r = R \times Q_o$$

Keterangan :

Q_r = Debit resirkulasi ($m^3/detik$)

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

R = rasio resirkulasi

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 36)

- Debit total bioreactor

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

Keterangan :

Q_{total} = debit total (m^3/s)

Q_r = debit resirkulasi (m^3/s)

Q_o = debit air limbah awal (m^3/s)

- Konsentrasi BOD dalam bioreactor (C_{in})

$$C_{in} = \frac{(C_o \times Q_o) + (C_r \times Q_r)}{Q_o + Q_r}$$

Keterangan :

C_{in} = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

C_r = konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

C_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_r = Debit Resirkulasi ($m^3/detik$)

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

- Volume Bioreaktor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_{in} \times (C_o - C_{in})}{X_a \times (1 + K_d \times F_b \times \theta_c)}$$

Keterangan :

V = volume bioreactor

Y = Yield Coefficient ($g \text{ VSS} / g \text{ BOD}_5 \text{ removed}$)

θ_c = umur lumpur (hari)

C_{in} = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

C_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_{in} = Debit air limbah total ($m^3/detik$)

X_a = MLVSS (mg/L)

Kd = Endogenous Respiration Coefficient (g VSS/g VSS.d)

FB = Biodegradable fraction of VSS

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

- Kedalaman Bioreaktor

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

Keterangan :

H total = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

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

- F/M Rasio

$$F/M = \frac{C \text{ in}}{td \times Xa}$$

Keterangan :

C in = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

Xa = MLVSS (mg/L)

td = waktu tinggal hidrolis (jam)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$Xr = \frac{Xa (Qo + Qr)}{Qr}$$

Keterangan :

Xr = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Qr = debit resirkulasi (m³/s)

Qo = debit air limbah awal (m³/s)

Xa = MLVSS (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 35)

- Produksi Lumpur tiap hari

$$Y_{abs} = \frac{Y}{1 + Fb + Kd + \theta c}$$

$$Sr = Q \text{ in} \times (Co - C \text{ in})$$

$$Px = \frac{P_{xv}}{VSS/SS}$$

Keterangan :

- Px = produksi lumpur (kg/hari)
- Yobs = koefisien observed yield
- Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD₅ removed)
- θ_c = umur lumpur (hari)
- K_d = Endogenous Respiration Coefficient (g VSS/g VSS.d)
- FB = Biodegradable fraction of VSS
- S_r = penyisihan beban BOD (kg/hari)
- C_{in} = konsentrasi BOD dalam reactor (mg/L)
- C_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)
- Q_{in} = debit air limbah total (m³/s)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 39)

- Debit lumpur yang dibuang

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

Keterangan :

- V = volume bioreaktor
- θ_c = umur lumpur (hari)
- X = MLSS (mg/L)
- X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 43 - 44)

- Volume lumpur

$$V_{lumpur} = \frac{Px}{\rho_{lumpur} \times C} \times \theta_c$$

Keterangan :

- V lumpur = volume lumpur (m³)
- Px = produksi lumpur (kg/hari)
- ρ lumpur = massa jenis lumpur (kg/m³)
- C = konsentrasi lumpur

θ_c = umur lumpur (hari)

- Kebutuhan oksigen

$$\text{Keb. teoritis} = \frac{O_2}{Sr} \times Sr$$

$$\text{Keb. } O^2\text{teoritis} = \text{Keb. teoritis} \times \text{factor desain}$$

$$\text{Keb. } O^2\text{teoritis} = \frac{\text{Keb. } O_2 \text{ teoritis}}{\text{berat stand. udara} \times \% O_2 \text{ udara}}$$

$$\text{Keb. udara aktual} = \frac{\text{Keb. udara teoritis}}{\text{efisiensi blower}}$$

- Desain perpipaan diffuser

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

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

$$LL = (n \times DO) + ((n + 1) \times rO)$$

Keterangan :

LM = panjang pipa manifold (m)

LL = panjang pipa lateral (m)

DM = diameter pipa manifold (m)

DL = diameter pipa lateral (m)

DO = diameter lubang orifice (m)

rL = jarak antar pipa lateral (m)

rO = jarak antar lubang orifice (m)

2.2.3.2 Clarifier

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

Bangunan clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat

scraper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa di bawah 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 ft (3-4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 ft (0,6 meter). *Secondary Settling (Clarifier)*, fungsinya sama dengan bak pengendap tetapi clarifier biasanya di tempatkan setelah pengolahan kedua (pengolahan biologis).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan Zona Setling :

- Debit bak Clarifier

$$MLSS \text{ dibuang} = \frac{P \times MLSS}{\text{berat jenis lumpur}}$$

$$Q \text{ in Clarifier} = (Q + Q_r) - MLSS \text{ yang dibuang}$$

Keterangan :

Q in Clarifier = debit masuk pada bak (m³/hari)

Q_r = debit resirkulasi (m³/hari)

Q = debit limbah (m³/hari)

- Luas Area Surface (AS)

$$AS = \frac{Q}{\text{Over flow rate}}$$

Keterangan :

AS = luas area surface (m²)

Q = debit limbah (m³/hari)

Over flow rate = Volume aliran per luas area (m³/m².hari)

- Diameter Bak (D)

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

- Diameter Inlet Wall (D')

$$D' = (15\% - 20\%) \times D$$

Keterangan :

D = dimensi bak (m)

D' = diameter inlet wall (m)

- Volume bak Clarifier

$$V = Q \times td$$

Keterangan :

V = volume bak clarifier (m³)

Q = debit air limbah (m³/hari)

td = waktu detensi (detik)

- Kedalaman Zona Setling (H Setling)

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

Keterangan :

H settling = kedalaman zona settling (m)

V = volume bak clarifier (m³)

A = luas area surface (m²)

$$H \text{ total} = H \text{ setling} + Fb$$

Keterangan :

H total = kedalaman total bak clarifier (m)

H settling = kedalaman zona settling (m)

Fb = freeboard (5-30% x H)

- Kecepatan pengendapan (Vs)

$$Vs = \frac{H \text{ total}}{td}$$

Keterangan :

Vs = kecepatan pengendapan partikel (m/s)

H total = kedalaman zona settling (m)

td = waktu detensi (detik)

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*,
4th Edition, page 368)

- Diameter partikel (Dp)

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

Keterangan :

Dp = diameter partikel (m)

vs = kecepatan pengendapan (m/s)

v = viskositas kinematis ($0,8004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

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

sg = spesifik gravity

- Cek bilangan Reynold

$$NRe = \frac{\rho s \times Dp \times vs}{\mu}$$

Keterangan :

NRe = bilangan Reynold

Dp = diameter partikel (m)

Vs = kecepatan pengendapan (m/s)

μ = viskositas absolut ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

s = massa jenis partikel (kg/m^3)

(Sumber: Reynolds, Tom D. and Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, page 224.

Boston: PWS Publishing Company)

- Kecepatan horizontal (Vh)

$$Vh = \frac{Q \text{ in}}{\pi \times D \times H}$$

Keterangan :

Vh = kecepatan horizontal (m/s)

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

D = diameter bak clarifier (m)

H = kedalaman bak (m)

- Jari-jari hidrolis (R)

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

r = jari-jari bak clarifier (m)

H = kedalaman bak clarifier (m)

- Cek Bilangan Reynold

$$NRe = \frac{vh \times R}{\mu}$$

Keterangan :

Vh = kecepatan horizontal (m/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Cek Bilangan Froude

$$Nfr = \frac{Vh}{\sqrt{g \times h}}$$

Keterangan :

NFr = bilangan froude

vh = kecepatan horizontal (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman bak (m)

- Cek Penggerusan / Kecepatan scouring (Vsc)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8k(Sg - 1) \times g \times Dp}{\lambda}}$$

Apabila Vsc > Vh maka tidak terjadi penggerusan

Keterangan :

λ = faktor gesekan hidrolis

k = konstanta kohesi partikel yang saling mengikat (0,06)

Dp = diameter partikel (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Sg = spesifik gravity

Rumus yang digunakan pada Unit Pengolahan Zona Thickening :

- MLVSS dalam Clarifier

$$MLVSS\ AS = 30\% \times MLVSS\ total$$

$$MLVSS\ clarifier = MLVSS\ total - MLVSS\ AS$$

Keterangan :

MLVSS AS = MLVSS dari bioreactor AS (mg/L)

MLVSS total = MLVSS total dari bioreactor AS (mg/L)

MLVSS Clarifier = MLVSS di dalam clarifier (mg/L)

- Massa solid total clarifier

$$M\ solid\ total = MLVSS\ clarifier \times V\ clarifier$$

Keterangan :

M solid total = massa solid total dalam clarifier (kg)

X = MLSS dari bioreactor AS (mg/L)

A = luas penampang clarifier (m²)

- Volume Zona Thickening

$$V = total\ massa\ pada\ clarifier / Xr$$

- Dimensi Zona Thickening

Luas permukaan atas (A)

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

Luas permukaan bawah (A')

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

- Kedalaman total

$$H\ settling + H\ thickening$$

Rumus yang digunakan pada Unit Pengolahan Zona Sludge :

- Total lumpur yang terkumpul

$$TL = Px \times t$$

Keterangan :

TL = total lumpur yang terkumpul (kg)

Px = lumpur yang dihasilkan dari bioreactor AS (kg/hari)

T = waktu pengurasan (hari)

- Total massa lumpur pada bak clarifier

$$T_{ml} = TL + m_{solid\ total}$$

Keterangan :

T_{ml} = total massa lumpur pada clarifier (kg)

TL = total lumpur yang terkumpul (kg)

$M_{solid\ total}$ = massa solid total dalam clarifier (kg)

- Volume lumpur pada clarifier

$$V_L = \frac{T_{ml}}{P_s}$$

Keterangan :

V_L = volume lumpur pada clarifier (m^3)

T_{ml} = total massa lumpur pada clarifier (kg)

P_s = massa jenis solid (kg/m^3)

- Debit lumpur

$$Q_L = \frac{V_L}{\text{waktu\ pengurusan}}$$

Keterangan :

V_L = volume lumpur pada bak per hari ($m^3/hari$)

td = lama waktu pengurusan (jam)

- Kedalaman ruang sludge

$$V_{\text{ruang\ lumpur}} = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + r^2 + Rr)$$

Keterangan :

V = volume ruang lumpur (m^3)

H = kedalaman ruang sludge (m)

R = jari-jari permukaan atas (m)

r = jari-jari permukaan bawah (m)

- Kedalaman total clarifier

$$H_{\text{total}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{sludge}}$$

Keterangan :

H_{total} = kedalaman total (m)

H_{settling} = kedalaman zona settling (m)

- H thickening = kedalaman zona thickening (m)
- H sludge = kedalaman zona sludge (m)

Rumus yang digunakan pada Unit Pengolahan Zona Outlet :

- Panjang Pelimpah

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

Keterangan :

- L = panjang pelimpah (m)
- D = diameter bak clarifier (m)

- Jumlah V notch setiap pelimpah (Weir)

$$n = \frac{\text{panjang pelimpah weir}}{\text{jarak antar V notch}}$$

Keterangan :

- L weir = panjang pelimpah (m)
- R weir = jarak antar weir (m)

(Sumber: Syed R. Qasim, *Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, page: 9-21 9-26, 459-460*)

- Debit air melalui V notch

$$Q \text{ v notch} = \frac{Q \text{ in}}{n}$$

Keterangan :

- Q Vnotch = debit air melalui Vnotch (m³/s)
- Q in = debit air limbah (m³/s)
- n = jumlah Vnotch

- Tinggi limpahan Vnotch

$$NRe = \frac{\rho \times D \times v_s}{\mu}$$

Keterangan :

- NRe = bilangan Reynold
- D = diameter bak (m)
- vs = kecepatan pengendapan (m/s)
- μ = viskositas absolut (N.s/m²)
- ρ = massa jenis air (kg/m³)

- Luas permukaan saluran limpahan

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pelimpah (m²)

Q in = debit yang masuk (m³/s)

v = kecepatan saluran pelimpah (m/s)

- Dimensi saluran pelimpah

$$A = L \times H$$

$$H = H + (H \times \text{Freeboard})$$

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pelimpah (m²)

L = lebar saluran pelimpah (m)

H = tinggi pelimpah melalui Vnotch (m)

Fb = (15-20%) kedalaman

2.2.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. *Sludge* dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

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

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur. Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu *belt-filter press*.

2.2.5.1 Sludge Drying Bed

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, 2003).

Berdasarkan Metcalf & Eddy, keuntungan penggunaan *Sludge Drying Bed* sebagai berikut ini :

1. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan
2. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan
3. 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 :

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

Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya :

1. *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
2. *Paved Sludge Drying Be*
3. *Artificial Media Sludge Drying Bed*
4. *Vacumm Assisted Sludge Drying Bed*

5. *Solar Sludge Drying Bed* (Metcalf & Eddy, 2003)

Conventional Sand Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm.

Lalu, lumpur pada bak tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan *open join*) (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / *sludge* ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed*. (Metcalf & Eddy, 2003).

Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi

kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering. (Metcalf & Eddy, 2003).

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

Sludge Drying Bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. (Metcalf & Eddy, 2003).

Sistem Underdrain pada *Sludge Drying Bed* adalah sistem pengaliran air di bawah media setelah air melewati proses penyaringan. Persyaratan sistem underdrain adalah :

- Dapat mendukung media di atasnya
- Pendistribusian merata

Pada bagian dasar terdiri dari sistem perpipaan yang tersusun dari lateral dan manifold, di mana air diterima melalui lubang orifice yang diletakkan pada pipa lateral.

Manifold dan lateral ditujukan agar distribusi merata, headloss 1-3 m dengan kriteria sistem manifold-lateral sebagai berikut ini:

- Perbandingan luas orifice = 0,0015 – 0,005
- Perbandingan luas lateral/orifice = 2 - 4
- Perbandingan luas manifold/lateral = 1,5 - 3
- Diameter orifice = 0,6 – 2 cm
- Jarak antar orifice = 7,5 – 30 cm
- Jarak antar lateral = orifice

2.2.5.2 Screw Press

Screw Press menghasilkan lumpur kering (cake) dengan kadar padatan kering 30-70% atau kandungan air 30-70%. Apabila lumpur yang diolah berasal dari campuran lumpur pengolahan fisika-kimia dengan lumpur biologi, maka perlu ditambahkan koagulan polimer atau polielektrolit (PE). Sebaliknya, apabila hanya berasal dari lumpur fisika-kimia tanpa penambahan koagulan polimer atau polielektrolit (PE), dengan pemakaian umumnya sekitar 1-2 ppm.

Dewatering Screw Press adalah alat yang dirancang untuk pengentalan dan pengeringan lumpur cair yang lebih efisien yang berasal dari proses pengolahan limbah kota dan industry (IPAL). Lumpur akan mengalir ke ruang filter dari tangka flokulasi dan didorong ke ujung pemakaian. Benang pada poros semakin kencang saat air limbah mengalir melalui sistem, hal ini menyebabkan tekanan pada lumpur meningkat. Air kemudian dipisahkan dari lumpur. Pergerakan cincin bergerak dan tetap membersihkan celah di antara mereka dan mencegah penyumbatan yang secara tradisional dialami dalam sistem serupa. Kue lumpur yang disaring didorong ke depan oleh poros dan akhirnya dibuang dari ujung.

2.2.5.3 Belt Filter Press

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

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari belt-filter press, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi

mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. Belt filter press ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2. 8 Belt Filter Press

(Sumber :

https://www.sludgeprocessing.com/transforms/images/Pages/35795/Dewat_Belt-press-7a3a756aa6.png)

2. 3 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada air limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar pada air limbah dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Berikut ini merupakan persentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literasi yang ada pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 6 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Pengolahan	Bahan Pencemar	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
Grease trap	minyak & lemak	80%	Kementerian PUPR. 2017. Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan.
Netralisasi	pH	6,5 – 9	Reynold/Richard, Unit Operations & Processes in Environmental Engineering. 2 nd edition. 161.
Sedimentasi 1	TSS	80 – 90%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 497.
Activated Sludge	BOD	85 – 95%	Qasim, S.R, & Zhu, G. 2017. Wastewater Treatment and Reuse, Theory, and Design Example, Volume 1. Chapter 6. 19.
	COD	85 – 95%	
Sedimentasi 2	TSS MLSS	50 – 70%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 497. Reynold 2 nd edition. 246.

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.

2. 4.1 Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

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. 4.2 Kehilangan Tekanan Pada Persiapan 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 mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus
- 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

2. 4.3 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 *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada *clear well*
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake
- d. Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air

2. 4.4 Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 7 Jenis-jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none"> • Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effluent
	Peripheral	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah logam • Pasir lumpur • Limbah kasar
	Rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Minyak • Pembuangan gas • Permasalahn zat-zat kimia • Pengaliran lambat untuk air dan air buangan
Posite	Screw	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir • Pengolahan lumpur pertama dan kedua • Air limbah pertama
	Diafragma	<ul style="list-style-type: none"> • Permasalahan zat kimia

Klasifikasi	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
		<ul style="list-style-type: none"> • Limbah logam
	Air Lift	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir • Sirkulasi • Pembuangan lumpur kedua
	Pneumatic	<ul style="list-style-type: none"> • Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber: Metcalf and Eddy. 2004. Hal 1469)