

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil

Karakteristik limbah cair industri berbeda-beda sesuai dengan produk yang dihasilkan. Industri tekstil memiliki karakteristik khusus pula. Bahan pencemarnya terdiri dari bahan organik dan anorganik, didominasi zat-zat pewarna kain yang berasal dari kegiatan produksi, baik dari kegiatan pencelupan maupun mencapan (Sihombing, R. P. & Sarungu, Y. T., 2022). Berdasarkan Peraturan Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, untuk limbah cair industri tekstil memiliki Sembilan parameter yang tercantum, yaitu BOD₅, COD, TSS, Fenol Total, Krom Total, Amonia Total, Sulfida, Minyak dan Lemak, serta Derajat Keasaman (pH) (Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022).

2.1.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Biological Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen biologi didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan untuk memecah senyawa organik, pada kondisi aerobik. BOD₅ juga dapat diartikan sebagai jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba untuk merespon bahan organik yang terurai dalam perairan. Berdasarkan pengertian ini dapat diartikan bahwa meskipun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, namun untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai jumlah bahan organik yang mudah urai (*biodegradable organic*) dalam perairan (Atima, 2015).

BOD merupakan parameter pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai hampir semua zat organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan, dinyatakan dengan BOD₅ hari pada suhu 20°C dalam mg/liter atau ppm. Pemeriksaan BOD₅ diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik atau industri juga untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis bagi air tercemar. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, jika suatu badan air tercemar oleh zat organik maka bakteri akan dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses *biodegradable*

berlangsung, sehingga dapat mengakibatkan kematian pada biota air dan keadaan pada badan air dapat menjadi anaerobik yang ditandai dengan timbulnya bau busuk.

Kandungan BOD air buangan dari industri ini adalah 1500 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 60 mg/L. (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil).

2.1.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Tujuan dari pengukuran kadar COD adalah untuk mengukur kebutuhan oksigen yang akibat dari oksidasi kimia bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas dilihat pada oksidasi biokimia material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan pada uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidan yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Syed R. Qasim, 2000).

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat) (Syed R. Qasim, 2000). Bahan organik yang terdapat dalam air sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat, sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang sulit terurai, akan teroksidasi (Atima, 2015).

Kandungan COD air buangan dari industri tekstil ini adalah 2800 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil).

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari Total Solids yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan dan dengan pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling

sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman Fiber Glass* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58 μ m (Metcalf & Eddy, 2014).

Total Suspended Solid (TSS) pada air buangan kawasan industri adalah 500 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil).

2.1.4 Krom Total

Limbah yang dihasilkan industri tekstil mengandung senyawa-senyawa berbahaya aktif dari logam berat. Salah satunya adalah krom (Cr) yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas air dan membahayakan organisme akuatik. Kromium juga dapat menumpuk terakumulasi dalam tubuh dan bersifat kronis sehingga dapat menyebabkan kematian organisme. Logam kromium (Cr) ini bersifat toksik. Sifat ini bisa menyebabkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis (Lestari, A. & Samsunar, S., 2021).

Logam Cr dapat masuk ke dalam perairan secara alamiah dan non-alamiah. Secara alamiah disebabkan oleh faktor seperti erosi, terbawa dari udara atau air hujan. Lalu apabila secara non-alamiah yaitu dampak dari kegiatan industri seperti yang terjadi pada limbah industri tekstil ini sehingga perlu untuk dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Kandungan krom total pada limbah industri tekstil ini adalah sebesar 25 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil).

2.1.4 Amonia Total

Amonia adalah gas tidak berwarna, terdiri dari unsur nitrogen (N) dan tiga unsur hidrogen (H). Ammonia dapat bersifat racun pada manusia jika masuk ke tubuh manusia lebih dari jumlah yang dapat didetoksifikasi oleh tubuh. Jika terlarut dalam perairan maka akan dapat meningkatkan konsentrasi ammonia dan

menyebabkan lingkungan perairan tercemar sehingga berbahaya bagi semua organisme perairan serta makhluk yang terkontak dengan air baku.

Senyawa-senyawa ammonia, nitrogen, dan nitrit merupakan zat yang dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dalam perairan. Pembuangan senyawa ini ke dalam perairan tanpa pengolahan yang tepat dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan mengganggu ekosistem. Karena itu perlu untuk dilakukan pengelolaan limbah cair untuk menyisihkan beban pencemar sehingga limbah dapat memenuhi baku mutu dan dapat dibuang ke badan air penerima (Zuhra, 2022).

Untuk melindungi lingkungan dari pencemaran limbah industry yang mengandung ammonia, Menteri Lingkungan Hidup menetapkan baku mutu untuk kadar pencemar ammonia sebelum limbah industri dibuang ke badan air. Kandungan ammonia pada industri tekstil ini adalah sebesar 15 mg/L, sedangkan baku mutu yang ditetapkan untuk ammonia adalah sebesar 8 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil).

2.2 Bangunan Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi partikel-partikel pencemar serta senyawa organik, membunuh organisme patogen, menghilangkan nutrien, mengurangi komponen beracun, mengurangi bahan-bahan yang tidak dapat didegradasi agar konsentrasinya menjadi lebih rendah. Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Berdasarkan tingkat perlakuan proses pengolahan air limbah terdiri dari empat 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*)

Pengolahan pendahuluan ini dilakukan pada awal proses pengolahan untuk menghilangkan padatan kasar dan menjaga unit pengolahan selanjutnya mengalami kerusakan karena benda asing. Pengolahan ini dilakukan secara fisik dengan menyisihkan padatan besar atau objek kasat mata. Objek tersebut umumnya berupa kerikil, sampah plastik, ranting pohon, daun, dan ikan. Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya (Reynolds, Tom D. & Richard, Paul A., 1996).

Unit proses pengolahan *pretreatment* yang digunakan untuk kawasan industry tekstil ini adalah sebagai berikut:

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 terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar.

Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar. Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti aliran pada saluran terbuka. Berikut ini merupakan gambar macam macam saluran pembawa:



Gambar 2. 1 Saluran Pembawa Tertutup

(Sumber: area-tekniksipil.blogspot.com)



Gambar 2. 2 Saluran Pembawa Terbuka

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/KQViLewwCHwUNLJu7>)

1. Kriteria Perencanaan

- a. Kecepatan (v): 0,3 – 0,6 m/s

(Metcalf dan Eddy. 2003. WasteWater Engineering Treatment dan Reuse Fourth Edition. Halaman 316)

- b. *Freeboard*: 5% - 30% H

(WasteWater Engineering Treatment dan Reuse Fourth Edition. Halaman 316)

- c. Kemiringan/slope: < 0,001 m/m
(EPA – Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, Halaman 165)
- d. Koefisien kekasaran pipa untuk pipa PVC: 0,002 – 0,012

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran <i>Manning</i> (n)
1	Pipa besi tanpa lapisan	0,012 – 0,015
	Dengan lapisan semen	0,012 – 0,013
	Pipa berlapis gelas	0,011 – 0,017
2	Pipa asbestos semen	0,010 – 0,015
3	Saluran pasangan batu bata	0,012 – 0,017
4	Pipa beton	0,012 – 0,016
5	Pipa baja spiral dan pipa kelingan	0,013 – 0,017
6	Pipa plastik halus (PVC)	0,002 – 0,012
7	Pipa tanah liat (<i>vittrified clay</i>)	0,011 – 0,015

(Sumber: Permen PUPR Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik)

2. Rumus yang Digunakan

- a. Luas permukaan (A)

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

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = Debit limbah (m^3/detik)

- b. Kedalaman saluran (H)

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

Keterangan:

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

B = Lebar saluran pembawa (m)

- c. Ketinggian total

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

Keterangan:

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

Freeboard = Tinggi jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air

- d. Cek kecepatan

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

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = Debit limbah (m^3/detik)

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

- e. Jari-jari hidrolis

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

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = Lebar saluran pembawa (m)

- f. Kemiringan (*slope*)

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

$$R = B \times H B + (2 \times H)$$

Keterangan:

s = Kemiringan saluran/slope (m/m)

n = Koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa

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

R = Jari-jari hidrolis (m)

2.2.1.2 Saringan (*Screen*)

Pada umumnya screen terdapat dua tipe, yaitu penyaring kasar (*coarse screen*) dan penyaring halus (*fine screen & micro screen*). Adapun fungsi-fungsi dari *screen* tersebut. Namun dalam perencanaan ini yang dipakai adalah saringan jenis *coarse screen*. *Screen* ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan “*bar screen*”. Berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran dari 6-150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah lainnya, mengenai kriteria *coarse screen* dapat dilihat pada tabel 2.1. Dalam pengolahan air limbah *screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, *valve*, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. *Bar screen* terbagi lagi menjadi dua, yaitu secara manual ataupun mekanik.

Tabel 2. 2 Bagian-bagian *Bar Screen* Manual dan Mekanik

<i>Bagian-bagian</i>	<i>Manual</i>	<i>Mekanikal</i>
Ukuran kisi		
- Lebar	5 – 15 mm	05 – 15 mm
- Dalam	25 – 38 mm	25 – 38 mm
Jarak antar kisi	25 – 50 mm	15 – 75 mm
Sloop	30 ⁰ - 40 ⁰	0 ⁰ - 30 ⁰
Kecepatan melalui bar	0.3 – 0.6 m/det	0.6 – 1.0 m/det
Head Loss	150 mm	150 - 600 mm

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

1. Rumus yang digunakan untuk menghitung *bar screen*

a. Jumlah batang kisi (n)

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

Keterangan:

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah batang

r = Jarak antar kisi (m)

d = Lebar *screen* (m)

b. Lebar bukaan kisi

$$W_c = w_s - (n \times d)$$

Keterangan:

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah batang

d = Lebar *screen* (m)

c. Kecepatan pada *bar screen*

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{w_c \times h}$$

Keterangan:

V = Kecepatan melalui kisi (m/s)

Q = Debit yang melalui kisi (m³/s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h = Kedalaman saluran (m)

d. Tinggi kisi (h)

$$h = H + \textit{Freeboard}$$

Keterangan:

H = Kedalaman saluran (m)

e. Panjang kisi (x)

$$x = \frac{h}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = Kemiringan kisi (45° – 60°)

f. Jarak kemiringan (L)

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

Keterangan:

α = Kemiringan kisi (45° – 60°)

x = Panjang kisi (m)

g. *Headloss* pada bar screen (saat clogging)

$$x = \frac{1}{cc} \times \left(\frac{vic^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan:

Hf = *Headloss* (m)

Vic = Kecepatan melalui kisi saat clogging (Vi x 2) (m/detik)

V = Kecepatan melalui kisi (m/detik)

Cc = Koefisien *Headloss* untuk *bar screen* saat clogging (0,6)

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

h. *Headloss* pada bar screen (saat non clogging)

$$x = \frac{1}{cc} \times \left(\frac{vi^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan:

Hf = *Headloss* (m)

Vi = Kecepatan melalui kisi saat (m/s)

V = Kecepatan melalui kisi (m/s)

Cc = Koefisien *Headloss* untuk *bar screen* saat clogging (0,6)

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

2.2.1.3 Bak Pengumpul

Bak pengumpul merupakan bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan atau menampung limbah sehingga dapat menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran limbah yang konstan. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (*inlet*) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak pengumpul, debit air buangan yang tadinya berfluktuasi tiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy, 2014).

Tujuan dari menampung air limbah di unit ini yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja dari unit ini

adalah, Ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya akan dialirkan ke bak pengumpul. Debit limbah akan diatur sehingga dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2014).

Rumus yang digunakan untuk merencanakan bangunan ini adalah sebagai berikut:

a. Volume Bak Ekualisasi

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

V = Volume bak pengumpul (m^3)

Q = Debit limbah (m^3/s)

t_d = Waktu detensi (s)

b. Dimensi Bak Ekualisasi

$$V = B \times L \times H$$

Keterangan:

V = Volume bak pengumpul (m^3)

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman air pada bak pengumpul (m)

c. Kedalaman Total

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

Keterangan:

H total = Kedalam bak (m)

H = Ketinggian Air dalam bak pengumpul (m)

Freeboard = 5% – 30%

2.2.2 Pengolahan Primer (*Primarry Treatment*)

2.2.2.1 Aerasi

Aerasi Adalah proses penambahan oksigen ke dalam air limbah melalui kontak langsung antara air dengan udara. Proses ini dilakukan dengan cara meningkatkan luas permukaan kontak udara air dan memperbesar turbulensi, sehingga transfer oksigen dari udara ke air berlangsung lebih efektif (Metcalf &

Eddy, 2003). Dalam instalasi IPAL, aerasi merupakan salah satu unit proses penting untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan senyawa organik dan beban pencemar.

Berdasarkan metode dan peralatan yang digunakan, sistem aerasi ada beberapa jenis (Metcalf & Eddy, 2014):

a. Mechanical Aerator

Menggunakan alat mekanis seperti *surface aerator*, *turbine aerator*, atau *paddle wheel* untuk mengaduk air dan memecah udara sehingga oksigen dapat larut ke dalam air.

b. Diffused Aerator

Oksigen ditambahkan melalui diffuser berbentuk pori-pori (fine bubble diffuser atau coarse bubble diffuser) yang mengeluarkan gelembung udara.

c. Cascade Aerator

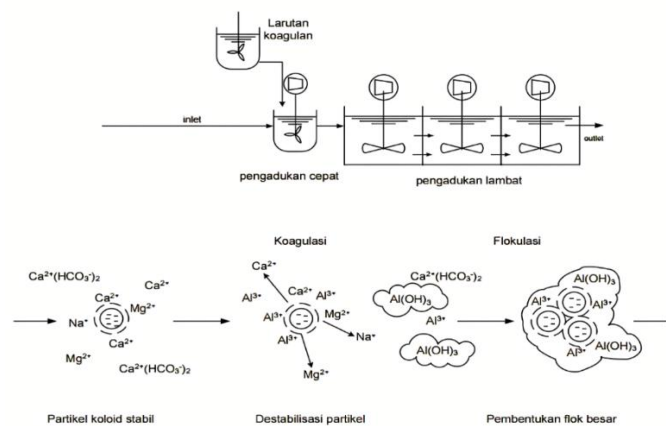
Air dialirkan lewat serangkaian undakan atau anak tangga sehingga terjadi percikan dan meningkatkan luas kontak udara dengan air.

2.2.2.2 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 (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) (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012).

Proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar

flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Proses koagulasi flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 3 Proses Koagulasi Flokulasi

(Sumber: <https://bit.ly/3Q9gjuR>)

Proses koagulasi flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat dibubuhkan koagulan. Sedangkan pada bak pengaduk lambat terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi. Untuk pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan *jar test apparatus* agar didapatkan kondisi optimum (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012).



Gambar 2. 4 Alat Jar Test

(Sumber: <https://bit.ly/3Q6jLGr>)

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

Pengadukan sendiri terdapat 2 macam proses, yaitu pengadukan cepat (*fast mixing*) dan pengadukan lambat (*slow mixing*).

1. Pengadukan Cepat

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

a. Untuk proses koagulasi flokulasi

Waktu detensi = 20 – 60 detik

G = 1000 – 700 per detik

b. Untuk penurunan kesadahan (pelarut kapur/soda)

Waktu detensi = 20 – 60 detik

G = 1000 – 700 per detik

c. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dll.)

Waktu detensi = 0,5 – 6 menit

G = 1000 – 700 per detik

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan menggunakan 3 cara, yaitu:

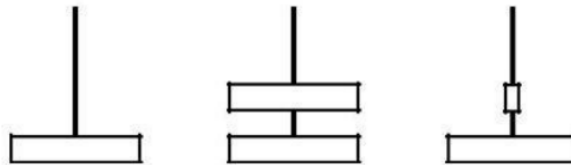
a. Pengadukan Mekanis

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* (balong-baling). Di bawah ini merupakan bentuk dari ke-tiga *impeller* tersebut:



(a) Tampak atas



(b) Tampak samping

Gambar 2. 5 Tipe *Paddle*

Sumber: (Qasim, 1985)



(a) *Turbine blade* lurus, (b) *Turbine blade* piringan, dan (c) *Turbine blade* menyerong

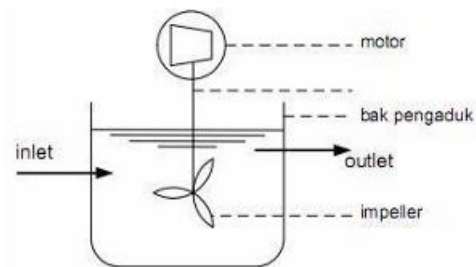


(a) *Propeller 2 blade* (b) *propeller 3 blade*

Gambar 2. 6 Tipe *Propeller*

Sumber: (Qasim, 1985)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan T_d . 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. 7 pengadukan cepat dengan alat pengaduk

Sumber: (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012)

Tabel 2. 3 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

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

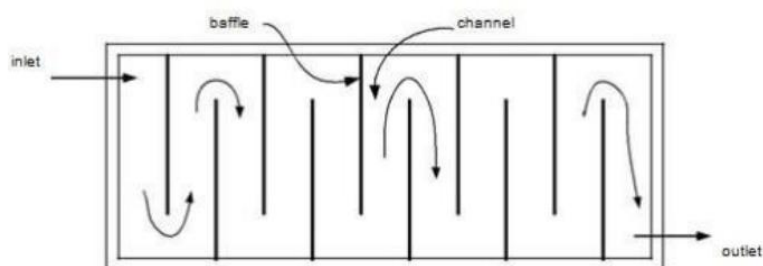
Sumber: (Reynolds, Tom D. & Richard, Paul A., 1996)

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.

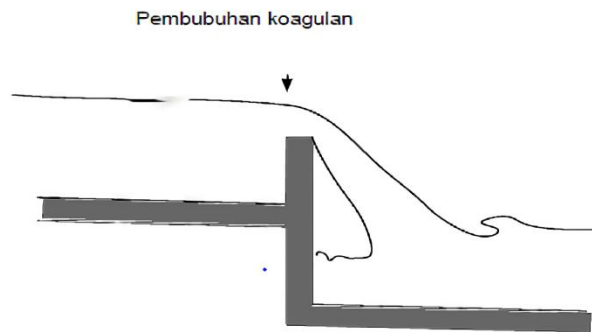
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*Headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran 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 flock yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*baffled channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012).



Gambar 2. 8 Baffle Channel

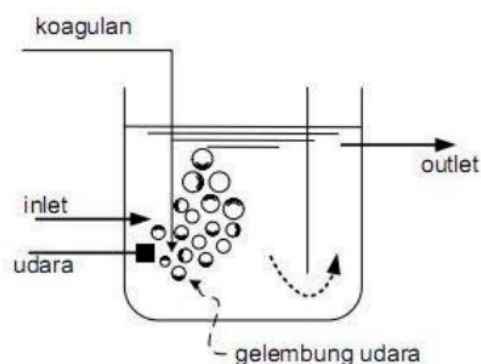
Sumber: (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012)



Gambar 2. 9 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

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.



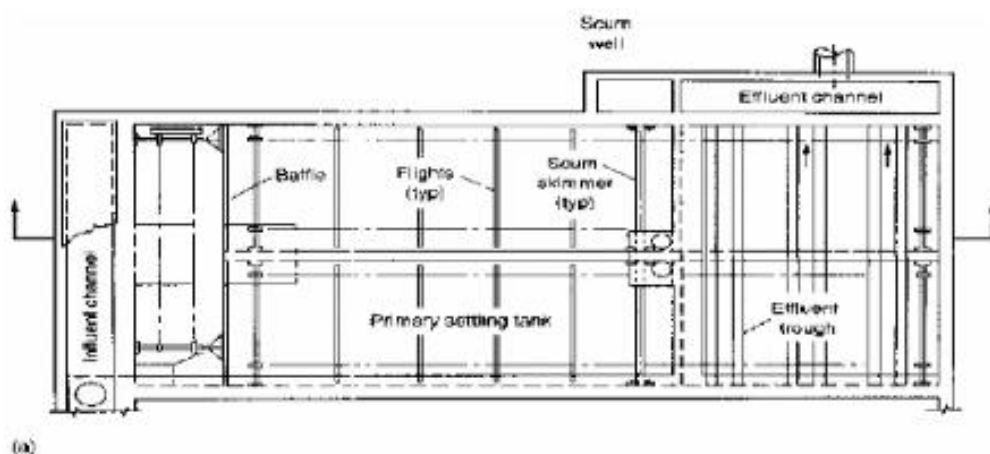
Gambar 2. 10 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

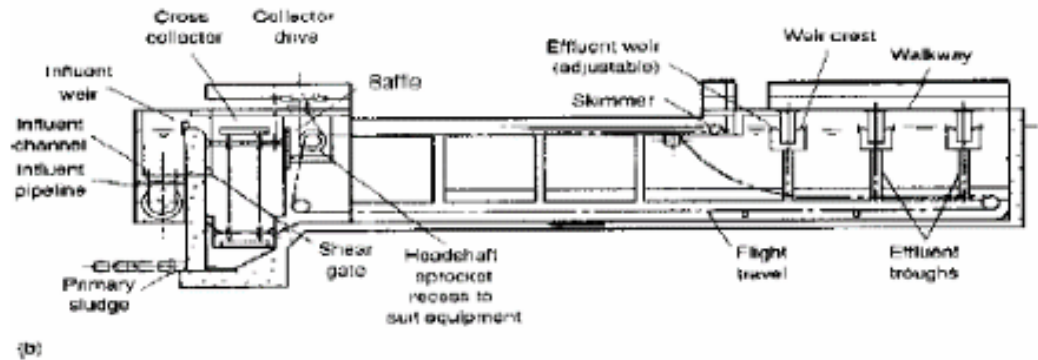
Sumber: (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012)

2.2.2.3 Sedimentasi

Sedimentasi 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 (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 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 pengendap I dipengaruhi oleh aliran angin, suhu udara permukaan, dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air, suhu terstratifikasi dari iklim, dan 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).





Gambar 2. 11 Sedimentasi

Tabel 2. 4 Data Perencanaan untuk Bangunan Sedimentasi I Berbentuk Persegi dan Lingkaran

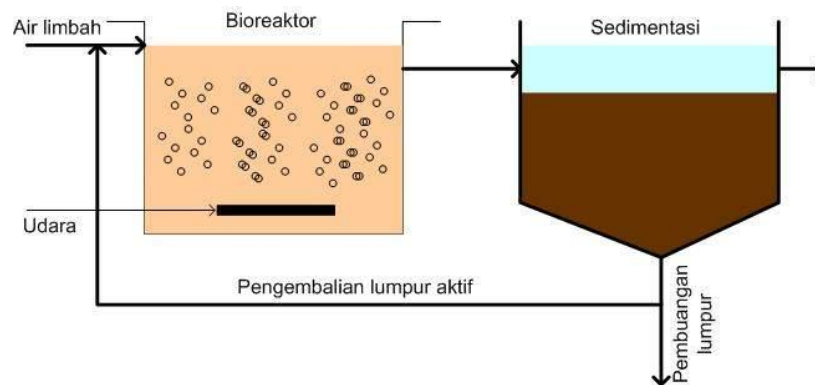
Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,2 – 1,2	2	Jam	1,5 – 2,5	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	gal/ft ² s	800 – 1.200	1.000	m ³ /m ² s	30 – 50	40
Puncak	gal/ft ² s	2.000 – 3.000	2.500	m ³ /m ² s	80 – 120	100
Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Weir loading	gal/ft ² s	10.000 – 40.000	20.000	m ³ /m ² s	125 – 500	250
<i>Primary settling with waste activated sludge return</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,5 – 2,5	2	Jam	1,5 – 2,5	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	gal/ft ² s	600 – 800	1.000	m ³ /m ² s	24 – 32	28
Puncak	gal/ft ² s	1.200 – 1.700	1.500	m ³ /m ² s	48 – 70	60
Weir loading	gal/ft ² s	10.000 – 40.000	20.000	m ³ /m ² s	125 – 500	250

2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

2.2.3.1 Lumpur Aktif (*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 CO_2 dan H_2O , NH_4 , dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa *blower* (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan. Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang 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 tadi sebagai tempat berkembang biaknya.



Gambar 2. 12 Lumpur Aktif

(Sumber : <https://3.bp.blogspot.com>)

Metode pengolahan lumpur aktif (activated sludge) adalah merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Diharapkan pemanfaatan sistem daur ulang air limbah akan dapat mengatasi permasalahan persediaan cadangan air tanah demi kelangsungan kegiatan industri dan kebutuhan masyarakat akan air. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Air daur ulang yang kami kerjakan dapat dimanfaatkan dengan aman untuk kebutuhan konsumsi air seperti *cooling tower*, *boiler laundry*, *toilet flusher*, penyiraman tanaman, *general*

cleaning, fish pond car wash, dan kebutuhan air yang lainnya. Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit activated sludge yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi.

Adapun jenis-jenis proses di dalam activated sludge, yaitu:

1. Konvensional

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

2. Nonkonvensional

a. Step aerasi:

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

b. *Tapered Aerasi*

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

c. *Contact Stabilisasi*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu :

- 1) *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.

2) *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilasi).

d. *Pure Oxygen*

Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan waktu detensi yang pendek.

e. *High Rate Aeration*

Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.

f. *Extended Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan *time detention* (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.

g. *Oxidation Ditch*

Bentuk *oxidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

1) Oksigen

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

2) Nutrisi

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

- Makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2003).
 - Mikro nutrient, antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni. Penggunaan mikro nutrient adalah 1-100 µg/L. Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Perry, 2008).
- 3) Komposisi organisme sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah *free ciliata* diikuti dengan *stalk ciliata* dan terdapat beberapa *rotifera*.
 - 4) Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6,5 – 7,5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H_2SO_4 atau NaOH maupun larutan kapur.
 - 5) Temperatur berpengaruh terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32° - 36° C (Hammer, 2004).

Adapun parameter penting untuk desain activated sludge adalah:

1. F/M ratio. Merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.

2. Rasio resirkular (R). Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.
3. Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).
4. Waktu detensi (t_d). t_d adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
5. Volume bak aerasi (V)

2.2.3.2 Biofilter Aerob

Biofilter adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reactor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi, R. & Herlambang, A., 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO_2 , air, dan ammonia. Pengolahan air limbah dengan sistem aerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan *trickling filter* secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik (Pamungkas, A. W., 2017).

Media biofilter digunakan bertujuan untuk tempat melekatnya mikroorganisme sehingga berguna untuk perkembangbiakan mikroorganisme tersebut. Pengolahan air limbah dengan biofilter aerob tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke reaktor biologis di mana di dalamnya terdapat media penyangga yang berguna dalam perkembangbiakan mikroorganisme dengan aerasi. Prosesnya dilakukan dengan memberi udara atau oksigen, di mana posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Senyawa polutan yang terkandung di air limbah seperti senyawa organik, ammonia, fosfor, dll. akan berdifusi ke dalam lapisan film biologis yang melekat pada permukaan medium. Lalu di saat bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Di dalam proses pengolahan air limbah sistem biofilter aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan *air lift pump*, dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Jika kemampuan oksigen besar maka kemampuan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang besar pula. Karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya, maka luas permukaannya, semakin besar sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan menjadi besar pula.

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biofilter aerobik:

- a. Beban BOD dalam air limbah = $Q \text{ limbah} \times \text{BOD inlet}$
- b. Volume media yang diperlukan = $\frac{\text{Beban BOD di dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$
- c. Volume reaktor yang diperlukan = $\frac{100}{60} \times \text{volume media}$
- d. Waktu tinggal di dalam reaktor (td) = $\frac{\text{Volume reaktor}}{Q}$
- e. Dimensi reaktor

$$\text{Volume reaktor} = P \times L \times T$$
- f. Dimensi media

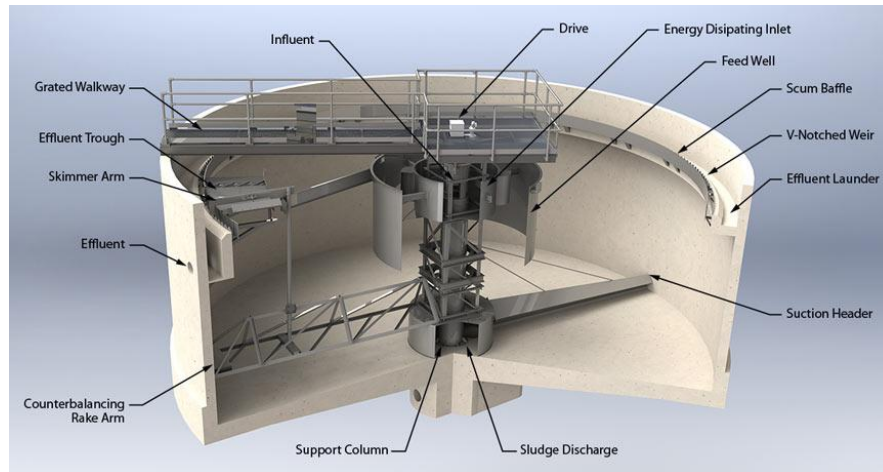
$$\text{Volume media} = P \times L \times H$$
- g. BOD loading per volume media = $\frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{Volume media}}$
- h. BOD loading (jika media memiliki luas spesifik $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$)

$$= \frac{\text{BOD loading per volume media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

$$\text{i. Produksi sludge} = \frac{\text{Bebad COD + BOD + TSS lumpur}}{\text{konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

2.2.4 Tertiary Treatment

2.2.4.1 Clarifier



Gambar 2. 13 Clarifier

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/1cTUv8D27wLeWZJBA>)

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 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.

Bangunan ini 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 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). Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi.

Air yang tertampung di *secondary* clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di *secondary* clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll. Pada *secondary* clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan *preliminary* clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada *secondary* clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

2.2.4.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu pada suatu cairan akan berpindah atau menempel ke permukaan zat padat yang mempunyai sifat menyerap. Zat padat tersebut disebut dengan adsorben. Adsorben merupakan bahan yang sangat porous dengan luas permukaan yang besar, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung pada permukaan adsorben. Karena ukuran pori sangat kecil, maka luas permukaan dalam menjadi sangat besar dibandingkan dengan luas permukaan luar.

Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian molekul polutan melekat di permukaan adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses ini umumnya digunakan untuk menghilangkan polutan dengan konsentrasi mikro, penghilangan

warna, penghilangan bau, dan pengolahan lainnya. Bahan adsorben yang umum digunakan ialah karbon aktif (*activated carbon*), silika aktif (*activated silica*), zeolite, dan sebagainya.

Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C). Misalnya batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara, atau senyawa karbon lainnya, dengan cara memanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran pori atau luas permukaannya. Ada dua tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air, yaitu Powder Activated Carbon (PAC) dan karbon aktif butiran atau Granular Activated Carbon (GAC). Pada umumnya, penggunaan PAC dipilih untuk dilakukan dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka waktu yang pendek. Sedangkan untuk proses yang kontinu atau jangka waktu yang lama, penggunaan GAC lebih disarankan.

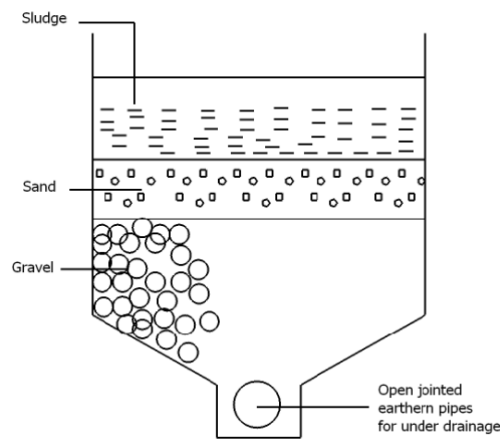
Powder Activated Carbon (PAC) atau karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus, yaitu sekitar $50 - 75 \mu$ (mikron), karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang), sehingga biasanya dicampur air dengan kandungan sekitar 30% – 50%. Granular Activated Carbon (GAC) atau karbon aktif butiran merupakan karbon aktif yang berbentuk butiran atau kepingan dengan ukuran partikel 0,16 – 1,5 mm (Masduqi, Ali & Assomadi Abdu F., 2012).

2.2.5 Sludge Treatment

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

- a. *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab 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)



Gambar 2. 14 Pengolahan Lumpur

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/B9RP1dbZXcMWFon96>)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

- a. Mereduksi kadar lumpur.
- b. 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 suatu 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*.

- 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

2.3 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik *grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

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

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

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

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan. Cara yang mudah dengan monogram "*Hazen William*" Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris. Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S.
- c. Kehilangan tekanan pada pompa. Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
- d. Kehilangan tekanan pada flock. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flock. Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

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

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara *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