

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Tekstil

Setiap industri memiliki karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri tekstil yang memiliki karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Bahan pencemar penyusun limbah industri tekstil terdiri dari bahan organik maupun bahan anorganik dan didominasi oleh zat-zat pewarna kain yang berasal dari kegiatan produksi, baik pada kegiatan pencelupan maupun pencapan (Cis-trans, Sihombing and Sarungu, 2022). Berdasarkan Peraturan Menteri 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)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28° C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga bisa dikenal sebagai BOD₅ (Qasim and Zhu, 2017). Kandungan BOD pada air limbah Industri Tekstil ini adalah 1860 mg/L, sementara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 nilai BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 60 mg/L.

2.1.2 COD (Chemical Oxygen Demand)

COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik di dalam air oleh bahan kimia pengoksidasi kuat. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah

dapat dioksidasikan melalui proses kimia dan mengakibatkan berkurangnya kandungan oksigen terlarut dalam air (Anasrul Amri and Widayatno, 2023). Kandungan COD pada air limbah Industri Tekstil ini adalah 3200 mg/L, sementara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 nilai COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 150 mg/L.

2.1.3 TSS (Total Suspended Solid)

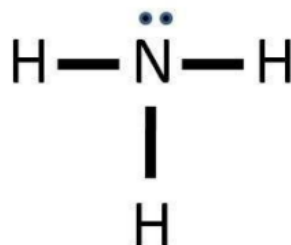
Total Suspended Solid (TSS) merupakan sebagian dari Total Solids yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiber glass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm (Metcalf and Eddy, 2004). Total padatan tersuspensi dalam air limbah mentah merupakan padatan organik dan anorganik yang dapat diendapkan (Qasim and Zhu, 2017). Kandungan TSS pada air limbah Industri Tekstil ini adalah 1900 mg/L, sementara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 nilai TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 50 mg/L.

2.1.4 Krom (Cr)

Krom (Chromium) tidak ditemukan secara alami di dalam air. Namun, kromat dan dikromat ditemukan di beberapa industri, salah satunya di Industri Tekstil. Ion kromium ditemukan dalam bentuk heksavalen, trivalent, dan kuartener pada media air, dimana heksavalen dan trivalent merupakan bentuk yang lebih stabil. Kromium bentuk heksavalen diketahui merupakan *oxyanion* yang sangat beracun, karsinogenik dan memberikan efek berbahaya bagi kesehatan manusia. Kromium tidak dibutuhkan oleh tanaman dan dengan konsentrasi tinggi dapat meracuni tanaman (Ehsanpour, Riahi Samani and Toghraie, 2023). Kandungan kromium pada air limbah Industri Tekstil ini adalah 32 mg/L, sementara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 nilai krom yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan sebesar 1 mg/L.

2.1.5 Amonia Total (NH₃-N)

NH₃-N terdiri dari nitrogen organik (N organik, amoniak (NH₃ & NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻), dan nitrat (NO₃-N). Bagian bahan organik terdiri dari pencampuran yang kompleks yang didalamnya tersusun oleh asam amino, gula amino, dan protein (polimer asam amino) (Metcalf and Eddy, 2004).



Gambar 2.1. Struktur Kimia Amonia

Pada kasus ini, kandungan ammonia air buangan industri tekstil sebesar 27 mg/L, sementara berdasarkan PermenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yang mengatur besar kandungan ammonia yang diperbolehkan yaitu sebesar 8 mg/L.

2.1.6 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH digunakan sebagai ukuran tingkat asam atau basa suatu larutan. Konsentrasi ion hidrogen (pH) dapat diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, yaitu sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+]$$

Mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral, yaitu berkisar antara pH 6 sampai dengan pH 9. Limbah dengan tingkat keasaman yang tinggi sukar untuk diolah secara biologis sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu menggunakan unit pengolahan tertentu. (Metcalf and Eddy, 2004). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu PermenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu pH 6 sampai dengan pH 9. Pada kasus limbah cair industri tekstil, diperoleh nilai pH sebesar 12,8. Artinya limbah cair industri tekstil bersifat basa dan diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai.

2.2 Unit Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri tekstil ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang nilainya melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada PermenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Adapun beberapa parameter tersebut yaitu BOD, COD, TSS, pH, Krom Total, dan Amonia Total. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok atau tingkatan pengolahan. Beberapa kelompok atau tingkatan pengolahan tersebut antara lain:

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

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan merupakan tahapan awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan partikel diskrit atau zat pengotor tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima oleh unit pengolahan berikutnya. Adapun unit pengolahan air limbah yang digunakan untuk kasus limbah cair industri tekstil antara lain saluran pembawa dan unit *screen*.

a) Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah jalur yang digunakan untuk mengalirkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan limbah lainnya. Terdapat dua bentuk utama saluran pembawa, yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa dapat dibuat dari beton atau pipa penyaluran, dan keduanya dapat dirancang dengan mode tertutup atau terbuka saat air limbah dialirkan (Akan, 2006).

Saluran pembawa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). Saluran terbuka (*open channel flow*) merujuk pada sistem saluran di mana permukaan airnya terbuka dan terpengaruh oleh udara luar (atmosfer). Ada beberapa bentuk yang umum digunakan untuk saluran terbuka,

seperti trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, atau kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut. Di sisi lain, saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran di mana permukaan airnya tidak terpengaruh oleh udara luar (atmosfer). Saluran tertutup sering ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah, yang dikenal sebagai sistem *sewerage*. Meskipun saluran tertutup, aliran dalamnya tetap mengikuti gaya gravitasi seperti halnya saluran terbuka (Akan, 2006).

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

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

dengan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = Debit limbah (m³/s)

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

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

- Kedalaman Saluran (H)

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

dengan :

H = Kedalaman air dalam Saluran Pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

W = Lebar saluran pembawa (m)

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

- Kedalaman Toal (H_{Total})

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

dengan :

H = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

Fb = *Freeboard* 5-30% ketinggian

- Cek Kecepatan

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

dengan :

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

Q = Debit limbah (m³/s)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

- Jari-Jari Hidrolis

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

dengan :

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

W = Lebar saluran pembawa (m)

H = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

- Slope Saluran

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

dengan :

S = Kemiringan saluran (m/m)

n = Koefisien kekasaran Manning

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

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

- Headloss Saluran

$$H_f = S \times L$$

dengan :

H_f = Headloss saluran (m)

S = Kemiringan saluran (m/m)

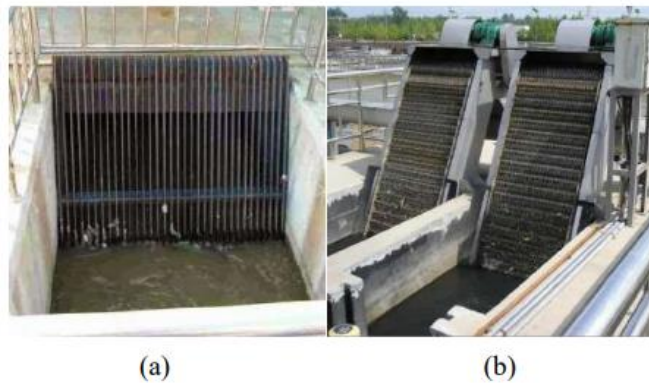
L = Panjang saluran (m)

b) Unit Screen

Pada proses pengolahan air limbah, unit pertama yang umum digunakan adalah screening. Screening adalah sebuah perangkat berlubang dengan ukuran yang seragam, yang berfungsi untuk menyaring padatan yang terdapat dalam air limbah yang masuk agar

tidak mengganggu proses pengolahan di bangunan pengolahan air limbah selanjutnya (Metcalf and Eddy, 2004). Prinsip kerja dari *screening* yaitu menghilangkan material kasar yang terdapat dalam aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

- Kerusakan pada alat pengolahan,
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- Kontaminasi pada aliran air (Metcalf and Eddy, 2004).



Gambar 2.2. Bar Screen dengan pembersih manual (a) dan mekanik (b)

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

<i>Parameter</i>	<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Cleaning Method</i>	
		<i>Manual</i>	<i>Mechanical</i>
<i>Bar Size</i>			
- <i>Width</i>	mm	5 – 15	5 – 15
- <i>Depth</i>	mm	25 – 38	25 – 38
<i>Clear spacing between bars</i>	mm	25 – 50	15 – 75
<i>Slope from vertical</i>	°	30 – 45	0 – 30
<i>Approach velocity</i>			
- <i>Maximum</i>	m/s	0,3 – 0,6	0,6 – 1,0
- <i>Minimum</i>	m/s		0,3 – 0,5
<i>Allowable headloss</i>	mm	150	150 – 600

(Sumber : Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, page 316*)

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

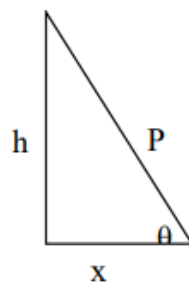
- Tinggi *Bar Screen*

$$H_{\text{Saluran}} = H_{\text{air}} + \text{Freeboard}$$

dengan :

$$H_{\text{Saluran}} = \text{Tinggi saluran (m)}$$

- Dimensi *Bar Screen*



Panjang kisi (P)

$$P = \frac{h}{\sin \theta}$$

$$x = P \times \cos \theta$$

dengan :

h = Tinggi *bar screen* (m)

x = Jarak kemiringan kiri (m)

θ = Sudut kemiringan kisi

- Jumlah kisi

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

dengan :

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah kisi

d = Lebar kisi (m)

r = Jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

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

dengan :

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran (m)

n = Jumlah kisi

d = Lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui *screen*

$$v_i = \frac{Q}{W_c \times h}$$

dengan :

v_i = 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*

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

dengan :

H_f = *Headloss* (m)

c = Koefisien Saat *non-clogging*

v_i = Kecepatan yang melalui *screen* (m/s)

v = Kecepatan perencanaan (m/s)

2.2.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Tujuan dari pengolahan primer adalah untuk menghilangkan partikel – partikel padat organik dan anorganik melalui proses kimia – fisika, yaitu koagulasi-flokulasi dan sedimentasi. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (*sludge*). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah bak ekualisasi, koagulasi-flokulasi dan sedimentasi.

a) Bak Ekualisasi

Proses Ekualisasi bertujuan untuk mengurangi atau mengontrol fluktuasi dalam karakteristik air limbah yang akan diolah, sehingga kondisi optimal dapat tercapai pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan jenis bak Ekualisasi akan disesuaikan dengan volume

limbah dan perubahan aliran limbah yang terjadi. Bak Ekualisasi harus memiliki dimensi yang memadai untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan dalam program produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara berkala dalam bak pengumpul atau saluran. Tujuan proses ekualisasi untuk mengolah limbah industri yaitu:

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

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak ekualisasi adalah sebagai berikut:

- Volume bak

$$V = Q \times T_d$$

dengan :

$$V = \text{Volume bak ekualisasi (m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{Debit limbah (m}^3\text{/s)}$$

$$T_d = \text{Waktu detensi (s)}$$

- Dimensi bak

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

dengan :

$$V = \text{Volume bak ekualisasi (m}^3\text{)}$$

$$d = \text{Diameter (m)}$$

$$H = \text{Tinggi bak ekualisasi (m)}$$

b) Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi koloid dengan menambahkan zat kimia yang disebut koagulan. Flokulasi, di sisi lain, adalah proses penggumpalan partikel koloid yang tidak stabil menjadi gumpalan partikel halus yang disebut mikroflok. Kemudian, mikroflok ini akan berkumpul menjadi gumpalan partikel yang lebih besar yang dapat mengendap dengan cepat. Dalam sistem pengolahan air limbah, penambahan senyawa kimia pada proses koagulasi sangat penting sebagai langkah awal. Partikel-partikel yang sangat kecil atau partikel koloid dalam air limbah sulit untuk mengendap secara alami. Oleh karena itu, penggunaan bahan kimia dalam proses koagulasi diperlukan agar partikel-partikel yang sulit mengendap dapat menggumpal menjadi lebih besar dan berat, sehingga mempercepat kecepatan pengendapan. Bahan kimia (koagulan) yang umum digunakan yaitu :

1) *Aluminium sulfat* (alum) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Alum merupakan salah satu jenis bahan koagulan yang sering digunakan dalam pengolahan air karena harganya yang ekonomis, kemampuannya untuk menghasilkan flok yang stabil, dan kepraktisan dalam penggunaannya. Alum, yang juga dikenal sebagai aluminium sulfat, tersedia dalam bentuk padatan maupun cair. pH yang optimal untuk penggunaan alum adalah antara 5,5 hingga 8,5.

2) *Polyaluminium chloride* (PAC) $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m}$

PAC merupakan salah satu jenis bahan koagulan yang sering digunakan dalam pengolahan air karena harganya yang ekonomis, kemampuannya untuk menghasilkan flok yang stabil, dan kepraktisan dalam penggunaannya. PAC tersedia dalam bentuk bubuk maupun cair. pH yang optimal untuk penggunaan alum adalah antara 5 hingga 8,5.

3) *Ferri klorida*

Ferri klorida dan ferri sulfat merupakan dua jenis bahan koagulan yang memiliki berbagai merek dagang. Keuntungan dalam menggunakan koagulan garam ferric adalah kemampuannya untuk melakukan proses koagulasi dalam rentang pH yang lebih luas, biasanya antara pH 4 hingga 9. Flok yang dihasilkan memiliki berat yang lebih besar, sehingga dapat mengendap dengan cepat. Selain itu, bahan koagulan ini efektif dalam menghilangkan warna, bau, dan rasa yang terdapat dalam air limbah (Said, 2017).

Dalam proses koagulasi – flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam proses pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sementara pengadukan lambat berperan dalam upaya pembentukan atau penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan hal yang sangat penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Masduki and F. Assom, 2016).

1) Pengadukan cepat

Pengadukan cepat dalam pengolahan air buangan bertujuan untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Masduki and F. Assom, 2016). Waktu pengadukan cepat berkisar antara 20 – 60 sekon, dengan gradien kecepatan 700 – 1000/sekon. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan *baffle basins* (Reynolds and Richards, 1996).

2) Pengadukan lambat

Pengadukan lambat dalam pengolahan air buangan bertujuan untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Masduki and F.

Assom, 2016). Waktu pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynolds and Richards, 1996). Sementara berdasarkan metode pengadukannya, dapat dibedakan menjadi:

a. Pengadukan Mekanis

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

- *Paddle impeller*

Paddle impeller umumnya memiliki dua atau empat bilah. Bilah-bilah dapat berbentuk pitch atau vertikal, walaupun tipe vertikal adalah yang paling umum digunakan. Diameter *paddle impeller* biasanya berkisar antara 50-80% dari diameter atau lebar tangki, sementara lebar *paddle* umumnya sekitar 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak antara *paddle impeller* dengan dasar tangki biasanya sekitar 50% dari diameter *paddle*. Kecepatan putaran *paddle impeller* berkisar antara 20 hingga 150 rpm. Dibandingkan dengan turbin, *paddle impeller* memiliki efisiensi yang lebih rendah karena tidak menghasilkan turbulensi dan gaya geser yang signifikan (Reynolds and Richards, 1996).

- *Paddle impeller*

Propeller impeller umumnya terdiri dari dua atau tiga bilah. Pitch, yang merujuk pada jarak

yang ditempuh oleh cairan secara aksial selama satu putaran, biasanya memiliki nilai 1,0 atau 2,0. Diameter maksimum propeller adalah 18 inci. Kecepatan putaran propeller umumnya berkisar antara 400 hingga 1750 rpm. Agitator dengan propeller ini sangat efektif dalam tangki yang besar, terutama karena dapat mencapai kecepatan tinggi (Reynolds and Richards, 1996).

Tabel 2.2. Konstanta KT dan KL

Jenis <i>Impeller</i>	KT	KL
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41.0	0.32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	43.5	1.00
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60.0	5.31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65.0	5.75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70.0	4.80
<i>Fan Turbine, 6 blades at 45°</i>	70.0	1.65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97.5	1.08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172.5	1.12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/Wi = 4</i>	43.0	2.25
<i>Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 6</i>	36.5	1.70
<i>Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 8</i>	33.0	1.15
<i>Flat paddles, 4 blades, Di/Wi = 6</i>	49.0	2.75
<i>Flat paddles, 6 blades, Di/Wi = 8</i>	71.0	3.82

(Sumber : Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards.

1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*)

Pengadukan mekanis yang bertujuan untuk mencapai pengadukan yang cepat biasanya dilakukan dalam waktu singkat di satu bak.

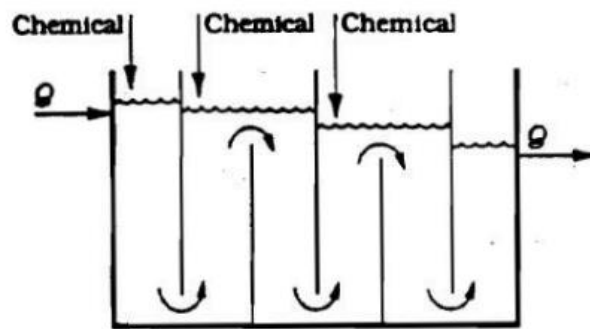
Dalam pengadukan mekanis, faktor-faktor penting yang harus diperhatikan adalah gradien kecepatan (G) dan waktu detensi (td). Sementara itu, untuk pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan yang lambat, umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan bahwa G di kompartemen I lebih besar dari G di kompartemen II, dan G di kompartemen III memiliki nilai yang paling kecil. *Paddle wheel*, baik dalam posisi horizontal maupun vertikal, adalah jenis pengaduk mekanis yang umumnya digunakan untuk pengadukan yang lambat. Pengaduk ini telah dimodifikasi agar bentuknya menyerupai roda.

b. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis melibatkan penggunaan aliran air sebagai sumber energi untuk pengadukan. Energi hidrolis ini dapat berasal dari energi gesek, energi potensial (jatuhan), atau perbedaan muka air dalam aliran. Terdapat dua jenis pengadukan hidrolis yang digunakan, yaitu untuk pengadukan cepat dan pengadukan lambat.

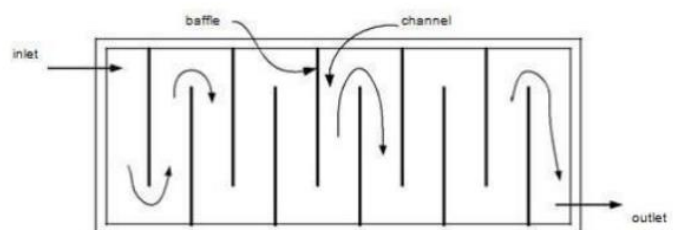
Pada pengadukan cepat, diperlukan aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar. Hal ini dapat dilihat dari tingginya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Untuk mencapai tingkat turbulensi yang tinggi, jenis aliran yang umum digunakan meliputi terjunan, loncatan hidrolis, dan *parshall flume*.

Sementara itu, pada pengadukan lambat, digunakan aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang lebih rendah. Tujuannya adalah menciptakan aliran yang lebih tenang tanpa terjadinya turbulensi yang berlebihan, sehingga flok yang terbentuk tidak pecah. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat meliputi kanal bersekat/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed*, dan lain sebagainya.



Gambar 2.3. Baffle Basin Rapid Mixing

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



Gambar 2.4. Baffle Channel Slow Mixing

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

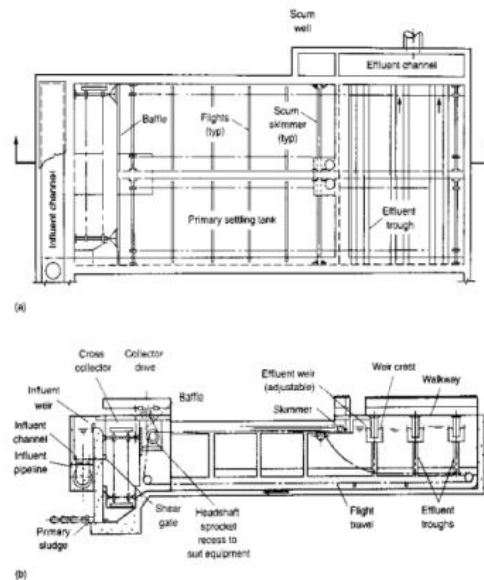
c. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis melibatkan penggunaan gelembung udara sebagai sumber energi untuk pengadukan. Gelembung udara tersebut dimasukkan

ke dalam air dan menyebabkan gerakan di dalamnya. Ketika udara bertekanan disuntikkan ke dalam air, hal ini menghasilkan turbulensi karena gelembung udara dilepaskan ke permukaan air. Untuk pengadukan cepat, aliran udara yang digunakan harus memiliki tekanan yang cukup tinggi agar mampu mendorong dan menggerakkan air. Semakin tinggi tekanan udara, semakin besar kecepatan gelembung udara yang dihasilkan dan semakin besar turbulensinya.

c) Sedimentasi (*Rectangular Tanks*)

Bentuk bak ini umumnya digunakan dalam sistem pengolahan air dengan kapasitas yang besar. Bak memiliki bentuk yang memanjang mengikuti arah aliran, sehingga mencegah terjadinya aliran pendek yang tidak diinginkan. Dalam hal hidraulika, bentuk ini memiliki performa yang baik karena aliran air di bak pengendapan tetap seragam sepanjang kolam. Dengan demikian, kecepatan aliran relatif konstan dan tidak akan mengganggu proses pengendapan partikel-partikel yang tersuspensi. Selain itu, pengendalian kecepatan aliran juga lebih mudah dilakukan. Namun, bentuk ini memiliki kekurangan yaitu panjang saluran peluapan yang kurang memadai, terutama jika bak memiliki lebar yang terbatas, sehingga laju peluapan menjadi terlalu besar dan dapat mengganggu bagian akhir kolam pengendapan. Untuk mengatasi masalah ini, ambang peluapan perlu diperpanjang, misalnya dengan menambahkan sudut-sudut pada saluran peluapan di depan saluran keluaran (Metcalf and Eddy, 2004).



Gambar 2.5. Bak Sedimentasi (atas) Denah (bawah) Potongan

Gambar 2.1. Bak Sedimentasi (atas) Denah (bawah) Potongan

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2004)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan bak Sedimentasi 1 adalah sebagai berikut:

Zona Settling

- Luas permukaan zona settling

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

dengan :

$$Q = \text{Debit air limbah (m}^3/\text{s)}$$

$$OFR = \text{Over flow rate (m}^3/\text{m}^2.\text{hari)}$$

- Kecepatan pengendapan

$$v_s = \frac{g}{18} \times \frac{(S_s - 1) \times d^2}{\nu}$$

dengan :

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

$$S_s = \text{Berat jenis partikel}$$

$$d = \text{Diameter partikel (m)}$$

$$\nu = \text{Viskositas kinematis (m}^2/\text{s)}$$

- Kecepatan aliran (vh)

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

dengan :

L = Panjang (m)

Td = Waktu detensi (s)

- Bilangan Reynold (Nre)

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

dengan :

vh = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari – jari hidrolis (m)

μ = Viskositas absolut (m²/s)

- Bilangan Froude (Nfr)

$$Nfr = \frac{vh^2}{g \times R}$$

dengan :

vh = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari – jari hidrolis (m)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Zona Inlet

- Luas permukaan saluran

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

dengan :

Q = Debit air limbah (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

- Slope saluran

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

dengan :

n = Koefisien Manning

v = Kecepatan aliran (m/s)

R = Jari – jari hidrolis (m)

Zona Outlet

- Tinggi peluapan melalui v-notch

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} H^{\frac{5}{2}}$$

dengan :

Q = Kapasitas tiap bak (m^3/s)

Cd = Koefisien drag

g = Percepatan gravitasi (m/s)

H = Tinggi air diatas saluran pelimpah (m)

- Saluran pengumpul

$$Q = 1,84 \times w \times h^{\frac{3}{2}}$$

dengan :

Q = Kapasitas tiap bak (m^3/s)

w = Lebar pelimpah/gutter (m)

H = Kedalaman gutter (m)

Zona Sludge

- Ruang lumpur berbentuk limas terpancung

$$V = \frac{1}{8} \times h \times (A + \sqrt{AA'} + A')$$

dengan :

V = Volume ruang lumpur (m^3)

h = Tinggi ruang lumpur (m)

A = Luas atas (m^2)

A' = Luas bawah (m^2)

d) Bak Pembubuh $Ca(OH)_2$

Bak pembubuh $Ca(OH)_2$ merupakan salah satu unit yang digunakan dalam pengolahan air buangan. Pada unit ini, air buangan akan diolah dengan ditambahkan $Ca(OH)_2$ yang berfungsi sebagai pereaksi agar kandungan khrom dapat mengendap, yang semula Cr^{3+}

menjadi endapan (lumpur) $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Pada proses pengendapan dengan kapur atau soda kaustik (soda api), pH yang paling efektif adalah 8 – 9. Lumpur atau endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ biasanya mengandung 95% air. Sebelum melakukan pembubuhan larutan kapur, pH air limbah perlu dikondisikan terlebih dahulu sehingga ketika pembubuhan dilakukan, nilai pH menjadi tidak terlalu tinggi (terlalu basa). Pembubuhan larutan kapur dilakukan hingga pH air menjadi 8 agar pengendapan Cr^{3+} menjadi efektif, serta tidak mengganggu pembentukan flok pada unit selanjutnya (Joko, 2010).

2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Polutan organik dalam air limbah umumnya melebihi standar mutu yang telah ditetapkan. Proses penguraian senyawa organik dalam air limbah sebagian besar mengandalkan aktivitas mikroorganisme, yang dikenal sebagai proses biologis. Pengolahan biologis pada air limbah memiliki beberapa tujuan. Tujuan tersebut antara lain yaitu mengubah (mengoksidasi) komponen *biodegradable* terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima oleh lingkungan dengan aman, menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan *nonsettleable* menjadi flok biologis atau biofilm, mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis seperti karbon (C); hidrogen (H); oksigen (O); nitrogen (N); dan fosfor (P), serta menghilangkan komponen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf and Eddy, 2004). Instalasi proses pengolahan sekunder pada kasus air buangan industri tekstil antara lain *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), dan *Activated Sludge*.

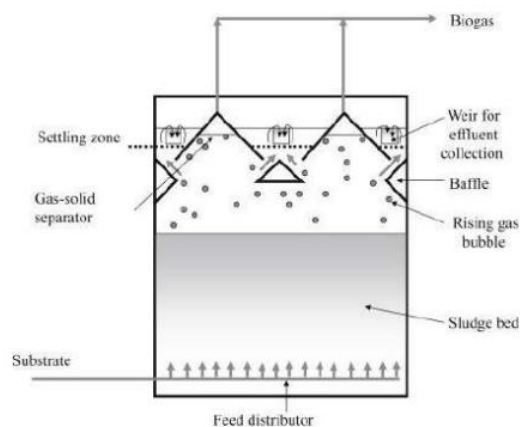
a) *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)

Prinsip kerja dari reaktor UASB yaitu terdiri dari lumpur padat yang berbentuk butiran. Lumpur tersebut diposisikan dalam suatu reactor yang dirancang dengan arah aliran ke atas. Air limbah mengalir

melalui dasar bak secara merata dan mengalir secara vertikal, sementara butiran lumpur akan tetap berada atau tertahan di dalam reactor.

Karakteristik pengendapan butiran lumpur dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan *upflow* yang harus dipelihara dalam reaktor. Umumnya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0,5 – 0,3 m/jam. Untuk mencapai formasi *sludge blanket* yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (debit puncak) kecepatan dapat mencapai antara 2 – 6 m/jam.

Gas yang terperangkap dalam butiran lumpur seringkali mendorong lumpur tersebut ke bagian atas reaktor, yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran lumpur. Hal tersebut menjadi masalah utama yang dihadapi oleh unit UASB. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran lumpur di luar reaktor dan kemudian dikembalikan kembali ke dalam reaktor. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat gas – solid – liquid separator yang ditempatkan di bagian atas reaktor. Gas yang terbentuk dapat ditampung dalam separator tersebut dan sludge dikembalikan lagi ke dalam reaktor.



Gambar 2.6. Skema UASB

(Sumber : Maudatul Khasanah, Henik Pratiwi and Norista Pramesti, 2021)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan reaktor UASB adalah sebagai berikut:

- Volume reaktor

$$V = \frac{Q \times S_0}{OLR}$$

dengan :

Q = Debit tiap reaktor (m³/s)

S₀ = Konsentrasi COD *influent* (Kg/m³)

OLR = *Organic Loading Rate* (Kg COD/m³.hari)

- *Hydraulic Retention Time*

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

dengan :

HRT = *Hydraulic Retention Time* (s)

V = Volume reaktor (m³)

Q = Debit (m³/s)

- Dimensi reaktor

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

dengan :

A = Luas permukaan reaktor (m²)

V = Volume reaktor (m³)

H = Tinggi reaktor (m)

- *Solid Retention Time*

$$X_{VSS}(V) = \frac{Q(Y_H)(S_0 - S)(SRT)[1 + f_d b_H(SRT)]}{1 + b_H(SRT)} + (nbVSS)(Q)(SRT)$$

dengan :

SRT = *Solid Retention Time* (hari)

Y_H = *Synthesis Yield* (g VSS/g COD)

S₀ - S = Removal COD

f_d = 0,1 g VSS *cell debris*/ g VSS *biomass decay*

b_H = *Decay Coefficient* (g/g.hari)

- Produksi lumpur perhari

$$P_{X, VSS} = \frac{X_{VSS}(V)}{SRT}$$

dengan :

$$P_{X, \text{vss}} = \text{Produksi lumpur per hari (kg VSS/hari)}$$

- Kelebihan lumpur

$$P_{X, \text{vss}} = Q(X_e) + Q_w(X)$$

dengan :

$$X_e = \text{VSS effluent (mg/L)}$$

$$X = \text{Konsentrasi lumpur (kg VSS/m}^3\text{)}$$

$$Q_w = \text{Debit lumpur (m}^3\text{/hari)}$$

- Produksi gas methan

$$P_{X, \text{bio}} = P_{X, \text{vss}} - n_b \text{VSS}(Q)$$

dengan :

$$P_{X, \text{bio}} = \text{Produksi biogas (g VSS/hari)}$$

→ Produksi Gas Methan pada suhu 0°C

$$= \text{CH}_4 \text{ COD} \times 0,35 \text{ L/g COD} \times 1 \text{ m}^3/10^3 \text{ liter}$$

→ Produksi Gas Methan pada suhu 30°C

$$= \text{Produksi Gas Methan suhu } 0^\circ\text{C} \times \frac{(273,15+30)^\circ\text{C}}{273,15^\circ\text{C}}$$

→ Energi Gas Methan

$$= \text{Produksi Gas Methan suhu } 30^\circ\text{C} \times 38846 \text{ kJ/m}^3$$

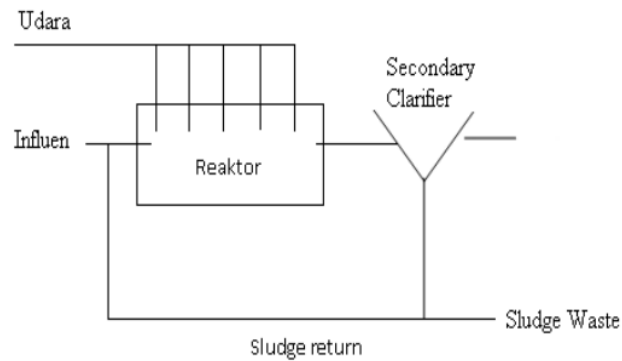
b) *Activated Sludge*

Dalam mengubah buangan organik menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil menggunakan unit *Activated Sludge*, bahan organik yang lebih terlarut sisa unit sebelumnya dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sementara fraksi terbesarnya diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh proses sedimentasi. Adapun proses di dalam *Activated Sludge* antara lain:

1) Konvensional

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

bahan organik. Adapun persentase removal BOD nya 85 – 90%, COD 85 – 90% (Reynolds and Richards, 1996).

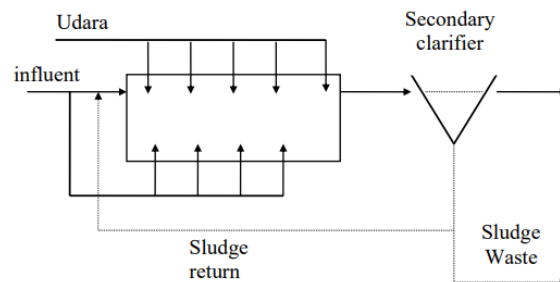


Gambar 2.7. Activated Sludge Konvensional

2) Non-Konvensional

a. *Step Aeration*

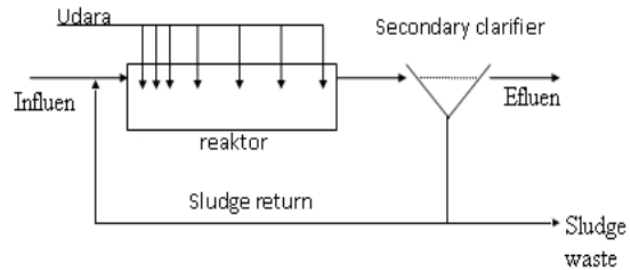
Step aeration merupakan tipe *plug flow* dengan perbandingan F/M atau subtract dan mikroorganisme menurun menuju outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 – 4 titik di tangki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio subtract dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. *Step aeration* memiliki keuntungan yakni waktu detensi yang lebih pendek (Qasim and Zhu, 2017).



Gambar 2.8. *Step Aeration*

b. *Tapered Aeration*

Serupa dengan *step aeration*, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.



Gambar 2.9. *Tapered Aeration*

Rumus yang digunakan dalam perhitungan reaktor UASB adalah sebagai berikut:

- Nilai Koefisien pada suhu T

$$k_T = k_{30} \times \theta^{(T-30)}$$

dengan :

k_T = Nilai koefisien pada suhu T

k_{20} = Nilai koefisien pada suhu 20°C

θ = Koefisien temperatur aktif

T = Suhu air buangan

- Perhitungan Konsentrasi Lumpur *Recycle* (X_r)

$$SVI = \frac{V \times \frac{1000mg}{g}}{MLSS}$$

$$X_r = \frac{10^6}{SVI}$$

dengan :

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

V = Lumpur mengendap setelah 30 menit (mL/L)

MLSS = *Mixed Liquor Suspended Solid* (mg/L)

X_r = Konsentrasi lumpur *recycle* (mg/L)

- Debit *Recycle* (Q_R)

$$X_r \times Q_R = X (Q + Q_R)$$

dengan :

X_r = Konsentrasi lumpur *recycle* (mg/L)

Q_R = Debit *recycle* (m³/s)

X = MLSS (mg/L)

Q = Debit air buangan (m³/s)

- Volume Reaktor

$$V = \frac{Q_{in} \times \theta_c \times Y \times (S_0 - S)}{X \times (1 + k_d \times \theta_c)}$$

dengan :

V = Volume reaktor (m³)

Q_{in} = Debit air buangan yang masuk (m³/s)

θ_c = Umur lumpur (hari)

Y = Koefisien batas pertumbuhan (mg VSS/mg BOD)

$S_0 - S$ = Removal BOD (mg/L)

X = MLSS (mg/L)

k_d = Koefisien endogeneous (hari)

- Debit masuk (Q_{in})

$$Q_{in} = Q + Q_R$$

dengan :

Q_{in} = Debit air buangan yang masuk (m³/s)

Q = Debit air buangan (m³/s)

Q_R = Debit *recycle* (m³/s)

- Dimensi Reaktor

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

dengan :

V = Volume reaktor (m³)

P = Panjang reaktor (m)

L = Lebar reaktor (m)

H = Tinggi reaktor (m)

- Cek Rasio (F/M)

$$F/M = \frac{Q \times S_0}{V \times X}$$

dengan :

F/M = *Food to microorganism ration*

Q = Debit air buangan (m³/s)

So = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)

V = Volume reaktor (m³)

X = MLSS (mg/L)

- Cek *Volumetric Loading* (L_{org})

$$L_{org} = \frac{Q \times S_o}{V}$$

dengan :

L_{org} = *Volumetric Organic Loading* (kg.BOD₅/m³.hari)

Q = Debit air buangan (m³/hari)

So = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)

V = Volume reaktor (m³)

- Efisiensi (E)

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100\%$$

dengan :

E = Efisiensi/persen removal (%)

So = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)

S = Konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)

- *Power Impeller*

$$P = W \times V$$

$$W = G^2 \times \mu$$

Sehingga

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

dengan :

P = *Power impeller* (N.m/s)

V = Volume reaktor (m³)

G = Gradien kecepatan (1/s)

μ = Viskositas *absolute* (N.s/m²)

- Jumlah Produksi Lumpur

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1+(k_d \times \theta_c)}$$

$$P_x = \frac{Y_{obs} \times Q \times (S_o - S)}{(1000g/kg)}$$

dengan ;

- Y_{obs} = Koefisien hylid observasi (g/g)
- Y = Koefisien batas pertumbuhan (mg VSS/ mg BOD)
- k_d = Koefisien endogeneous (hari)
- θ_c = Umur lumpur (hari)
- P_x = Produksi lumpur (kg/hari)
- Q = Debit air buangan (m^3/s)
- S_o = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)
- S = Konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)

- Jumlah Oksigen yang diperlukan tiap hari

$$Kg \ O_2/hari = \frac{Q \times (S_o - S)}{(1000g/kg)} \left(\frac{1}{f} - 1,42Y_{obs} \right) + \frac{Q \times (S_o - S)}{(1000g/kg)}$$

dengan :

- $Kg \ O_2/hari$ = Jumlah oksigen yang diperlukan (kg/hari)
- Q = Debit air buangan (m^3/s)
- S_o = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)
- S = Konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)
- Y_{obs} = Koefisien hylid observasi (g/g)
- f = Faktor konversi BOD₅ ke BOD (0,67)

2.2.4 Pengolahan Tersier (*Tertiary Teratment*)

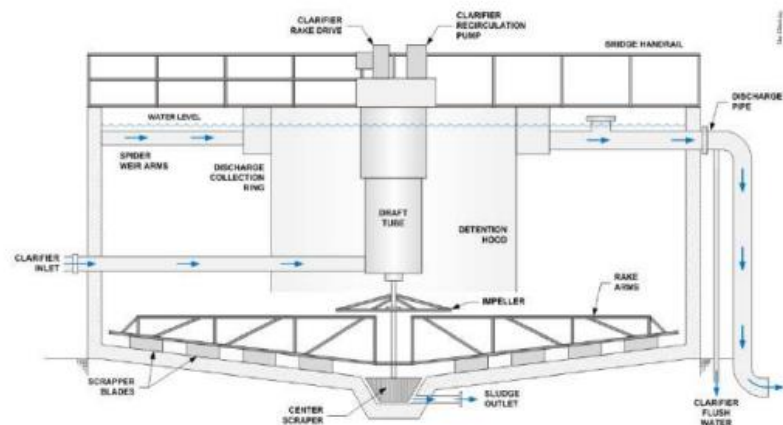
Pengolahan ini merupakan tahap lanjutan dari pengolahan sebelumnya, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua terdapat zat pencemar yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan tersier merupakan pengolahan yang dilakukan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, umumnya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan

lainnya. Instalasi proses pengolahan tersier pada kasus air buangan industri tekstil antara lain *clarifier*, dan *ion exchange*.

a) *Clarifier*

Bangunan clarifier digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya merupakan proses lumpur aktif. Dalam unit pengolahan ini, terdapat sepasang pisau pengikis yang memiliki bentuk vee (V). Alat ini digunakan untuk mengikis lumpur, sehingga lumpur terkumpul pada setiap vee dan kemudian dibuang melalui pipa yang terletak di bawah pisau tersebut. Lumpur yang keluar dari pipa kemudian masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terletak di bagian tengah bawah clarifier. Lumpur kemudian dihilangkan dari sumur pengumpul tersebut dengan menggunakan gaya 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).



Gambar 2.10. Skema Clarifier

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

Zona Settling

- Luas permukaan zona settling

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

dengan :

$$Q = \text{Debit air limbah (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{OFR} = \text{Over flow rate (m}^3/\text{m}^2.\text{hari)}$$

- Diameter bak pengendap (D)

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

dengan :

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

- Diameter *inlet well*

$$d_{\text{in well}} = 20\% \times D$$

dengan :

$$D = \text{Diameter bak (m)}$$

- Volume bak pengendap

$$V = Q \times Td$$

dengan :

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

- Kecepatan pengendapan

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

dengan :

$$v_s = \text{Kecepatan pengendapan (m/s)}$$

$$H = \text{Kedalaman bak (m)}$$

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

- Diameter partikel

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

dengan :

$$d_p = \text{Diameter partikel (m)}$$

$$v = \text{Viskositas kinematik (m}^2/\text{s)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$Sg = \text{Specific Gravity}$$

Zona Outlet

- Panjang weir

$$P = \pi \times \text{Diameter bak}$$

dengan :

$$P = \text{Panjang weir (m)}$$

- Jumlah v-notch tiap pelimpah

$$n = \frac{\text{panjang keliling weir}}{\text{jarak antar v-notch}}$$

- Debit v-notch

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{Q_{in}}{n}$$

dengan :

$$Q_{in} = \text{Debit limbah masuk (m}^3\text{/s)}$$

$$n = \text{jumlah v-notch}$$

- Tinggi air melalui v-notch

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

dengan :

$$Q_{v\text{-notch}} = \text{Debit v-notch (m}^3\text{/s)}$$

$$Cd = \text{Coefficient of Discharge}$$

$$H = \text{Tinggi air melalui v-notch (m)}$$

Zona Sludge

- Total Lumpur

$$T_L = P_x \times \text{Waktu pengurasan}$$

dengan :

$$T_L = \text{Total lumpur (kg)}$$

$$P_x = \text{MLVSS (kg/hari)}$$

- Volume lumpur

$$V_L = \frac{T_L}{\rho_s}$$

dengan :

$$\rho_s = \text{Massa jenis sludge (kg/m}^3\text{)}$$

2.2.5 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pengolahan air limbah. Pengolahan lumpur bertujuan untuk mengurangi kandungan air, menjaga stabilitasnya, dan menghilangkan mikroorganisme patogen yang mungkin terdapat di dalamnya. Tujuan ini adalah untuk memastikan bahwa lumpur yang telah diolah aman untuk dibuang atau digunakan dalam batasan tertentu. Melalui proses pengolahan air limbah, lumpur dihasilkan dan memerlukan perlakuan khusus agar tidak mencemari lingkungan dan dapat digunakan kembali untuk keperluan hidup. Sludge dalam penanganan lumpur memiliki kompleksitas masalah yang lebih mendalam. Hal tersebut disebabkan karena (Metcalf and Eddy, 2004) :

- 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%)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah *sludge drying bed*.

a) *Sludge Drying Bed (SDB)*

Prinsip dasar dari bak pengering lumpur adalah menghilangkan air dalam lumpur melalui gravitasi dan penguapan sinar matahari. Bak pengering lumpur digunakan untuk mengeringkan lumpur yang berasal dari proses pengolahan air limbah langsung tanpa perlu dilakukan pemekatan terlebih dahulu. Bak pengering memiliki struktur yang dangkal dan berisi media penyaring pasir dan batu kerikil sebagai penyangga pasir. Terdapat saluran filtrat di bagian bawah bak untuk mengalirkan air yang telah tersaring.

Di bagian dasar bak, terdapat saluran pembuangan air yang dilapisi dengan kerikil dan pasir kasar. Proses pengeringan lumpur menggunakan sistem alami dengan bantuan sinar matahari, di mana air dalam lumpur akan berkurang melalui proses penyaringan dan penguapan. Keuntungan dari penggunaan bak pengering lumpur adalah sistem operasinya yang sederhana dan biaya operasional yang rendah. Namun, kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang luas dan sangat bergantung pada kondisi cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan *sludge drying bed* (SDB) adalah sebagai berikut:

- Tebal media

$$\text{Tebal media} = \text{Tebal pasir} + \text{Tebal kerikil} + \text{Tebal cake}$$

- Volume *sludge cake*

$$V_i = \frac{V \text{ lumpur} \times (1-P)}{1-P_i}$$

dengan :

$$P = \text{Kadar air}$$

$$P_i = \text{Berat air dalam cake (60 – 70\%)}$$

- Volume *bed*

$$V = V_i \times T_d$$

dengan :

$$V_i = \text{Volume cake sludge (m}^3\text{)}$$

$$T_d = \text{Waktu detensi (s)}$$

- Volume tiap *bed*

$$V_h = \frac{V}{\text{jumlah bed}}$$

dengan :

$$V = \text{Volume bed (m}^3\text{)}$$

- Dimensi tiap *bed*

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

$$A = L \times W$$

dengan :

$$V_b = \text{Volume tiap } bed \text{ (m}^3\text{)}$$

$$L = \text{Panjang (m)}$$

$$W = \text{Lebar (m)}$$

- Kedalaman *underdrain*

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

dengan :

$$V_a = \text{Volume air (m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Luas tiap } bed \text{ (m}^2\text{)}$$

- Kedalaman total

$$H = \text{Tinggi } cake + \text{Tinggi media}$$

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

dengan :

$$H_{\text{total}} = \text{Kedalaman total bak (m)}$$

$$F_b = \text{Freeboard (10 – 20\%)}$$

- Diameter pipa *underdrain*

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

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

dengan :

$$V_a = \text{Volume air (m}^3\text{)}$$

$$T_d = \text{Waktu detensi (s)}$$

$$Q = \text{Debit air (m}^3\text{/s)}$$

- Volume air

$$V_a = \frac{\text{volume cake sludge (Vi) - volume padatan}}{\text{jumlah bed}} \times T_d$$

dengan :

$$T_d = \text{Waktu detensi (s)}$$

2.3 Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman persentase (%) penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah industri tekstil sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % penyisihan air limbah industri tekstil beserta sumber yang tertera.

Tabel 2.3. Persen Penyisihan Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Saluran Pembawa	-	-	-
Screen	-	-	-
Bak Ekualisasi	-	-	-
Pembubuhan Ca(OH) ₂	Cr	90 – 99%	<i>Joko, T., 2010. Joko, T. (2010) 'Penurunan Kromium (Cr) dalam Limbah Cair Proses Penyamakan Kulit (Studi Kasus di Pt Trimulyo Kencana Mas Semarang) Jurnal Kesehatan Lingkungan, 2(2), pp. 39-45</i>
Koagulasi-Flokulasi	-	-	-
Sedimentasi	TSS	50-80%	<i>Metcalf & Eddy 4th Edition, page 396</i>
Netralisasi	-	-	-
<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>	AMONIA	90%	<i>Sperling, 2007. Biological Wastewater Treatment Series, Vol. 5 page 13</i>
	BOD	85-90%	
	COD	83-90%	
	TSS	85-90%	
<i>Activated Sludge</i>	BOD	85-95%	<i>Reynolds/Richards 2nd Edition, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, page 429</i>
	COD	85-95%	
<i>Clarifier</i>	TSS	80-90%	<i>Ronald L. Droste_ Ronald L. Gehr - Theory and practice of water and wastewater treatment</i>

(Sumber : Literatur tertera)