

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri pulp yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Limbah cair Industri Kertas mempunyai karakteristik dan standart baku mutu antara lain.

2.1.1 BOD (Biological Oxygen Demand)

Pengukuran biologis “Kebutuhan Oksigen Biologis” (BOD) dipilih pada tahun 1908 sebagai indikator pencemaran organik sungai oleh Komisi Kerajaan Inggris untuk Pencemaran Sungai. Parameter ini didefinisikan sebagai jumlah oksigen, dibagi dengan volume sistem, yang diambil melalui aktivitas pernapasan mikroorganisme yang tumbuh pada senyawa organik yang ada dalam sampel (misalnya air atau lumpur) ketika diinkubasi pada suhu tertentu (biasanya 20° C) selama periode tertentu. Ini adalah ukuran polusi organik air yang dapat terdegradasi secara biologis. Dalam praktiknya, biasanya dinyatakan dalam miligram O₂ per liter. Penentuan BOD sangat penting untuk menelusuri aliran pencemaran dari tingkat hulu ke muara. Sesungguhnya penentuan BOD merupakan suatu prosedur yang menyangkut pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam suatu perairan, pada kondisi yang hampir sama dengan kondisi yang ada di alam (Nagel et al., 1992; Jouanneou et al., 2014).

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 BOD pada suhu 28°C dalam mg/liter atau ppm. Pemeriksaann BOD 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 dengantimbulnya bau busuk. Tercatat kandungan BOD air buangan dari industri ini adalah 830 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 70 mg/L. (Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013).

2.1.2 COD (Chemical Oxygen Demand)

Uji nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang disebabkan oleh oksidasi kimiawi bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia bahan organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia bahan organik yang diperoleh melalui oksidan kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Sperling, 2007).

COD adalah jumlah oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang diperlukan dalam kondisi tertentu untuk menguraikan bahan organik menggunakan bahan kimia atau pengoksidasi kimia yang kuat (Qasim, 1985). Kandungan COD air limbah dari industri ini adalah 4538 mg/L, sedangkan standar kualitas yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah 150 mg/L (Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013).

2.1.3 TSS (Total Suspended Solid)

Total Suspended Solid (TSS) adalah bagian dari *Total Solids* yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditentukan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling umum digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *fiber glass Whatman* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm (Metcalf & Eddy, 2003).

Total Suspended Solid (TSS) pada air buangan industri ini adalah 4100 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 70 mg/L. (Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013).

2.1.4 pH

Konsentrasi ion hidrogen atau yang biasa disebut derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang penting baik untuk air maupun air limbah. pH memiliki definisi logaritma negatif pada konsentrasi ion hidrogen.

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Air limbah dengan pH yang ekstrim sulit untuk pengolahan secara biologis dan jika tidak dilakukan penetralan pH sebelum air limbah diolah akan merubah kondisi di perairan alami (Metcalf & Eddy, 2004).

2.1.5 Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah logam berat yang berbahaya dan sering ditemukan dalam limbah industri, termasuk industri kertas. Dalam proses produksi kertas, penggunaan tinta dan bahan kimia tertentu dapat menyebabkan migrasi timbal ke dalam limbah cair. Kadar timbal yang tinggi dalam limbah ini dapat mencemari sumber air dan berdampak negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem. Penelitian menunjukkan bahwa limbah cair dari pabrik pulp dan kertas sering kali mengandung timbal melebihi ambang batas yang ditetapkan, sehingga memerlukan pengolahan yang efektif untuk mengurangi konsentrasi logam berat ini sebelum dibuang ke lingkungan.

Salah satu metode yang efektif untuk mengolah limbah cair yang mengandung timbal adalah dengan menggunakan proses koagulasi-flokulasi. Proses ini melibatkan penambahan bahan koagulan yang dapat mengikat partikel-partikel kecil, termasuk ion timbal, sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. Dengan menggunakan teknik ini, kadar timbal dalam limbah cair dapat diturunkan secara signifikan. Metode ini tidak hanya membantu mengurangi kontaminasi timbal tetapi juga memberikan alternatif pemanfaatan limbah kertas dalam pengolahan air limbah (Novita & Purnomo, 2012). Kandungan timbal (Pb) pada air buangan kawasan industri ini adalah 0,56 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar timbal (Pb) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,1 mg/L. (Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013).

2.2 Bangunan Pengolahan Limbah Cair

Tujuan utama dari pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi partikel pencemar dan senyawa organik, membunuh organisme patogen, menghilangkan nutrisi, mengurangi komponen beracun, mengurangi bahan yang tidak dapat terurai menjadi konsentrasi yang lebih rendah. Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung pada jenis kandungan limbahnya. Berdasarkan tingkat pengolahannya proses pengolahan air limbah terdiri dari empat tahap dalam pengolahan air limbah, yaitu:

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) (Sugiharto, 1987).

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (Pre treatment)

Pengolahan awal dilakukan untuk menghilangkan padatan kasar dan mencegah unit pengolahan selanjutnya dari kerusakan akibat benda asing. Pada awal pengolahan air limbah terdapat tahapan yang bertujuan untuk menghilangkan, menyisihkan, dan menghancurkan padatan yang berukuran besar atau benda-benda yang terlihat agar dapat disaring dengan mudah pada unit yang digunakan. Benda-benda tersebut umumnya berupa sampah plastik, ranting pohon, dedaunan, dan ikan. Selain untuk menghilangkan padatan yang besar, pre-treatment diperlukan untuk melindungi unit pengolahan selanjutnya dari kerusakan akibat benda-benda asing (Richard & Reynold, 1995). Unit proses pengolahan untuk pre-treatment untuk industri ini yaitu 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 biasanya terbuat dari dinding beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan perbedaan ketinggian atau beda elevasi antara satu

bangunan dengan bangunan lainnya. Jika saluran pembawa ini berada di lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan atau slope (m/m). Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya dipengaruhi oleh udara luar (atmosfer). Ada beberapa bentuk saluran terbuka, antara lain trapesium, persegi panjang, segitiga, setengah lingkaran, atau kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut. Sedangkan saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh oleh udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem saluran pembuangan. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti aliran pada saluran terbuka (Metcalf & Eddy, 2003). Berikut ini adalah gambar macam-macam saluran pembawa.



Gambar 2. 1 Saluran Pembawa Tertutup

(Sumber: Asiacon, n.a.)



Gambar 2. 2 Saluran Pembawa Terbuka

(Sumber: Anonim, n.a.)

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>vitrified clay</i>)	0,011 – 0,015

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017)

2.2.1.2 Saringan (Screen)

Pada umumnya *screen* terdapat dua tipe, yaitu penyaring kasar (coarse screen) dan penyaring halus (fine screen & micro screen). Berdasarkan jenis saringannya berikut adalah tipe-tipe screening (Metcalf & Eddy, 2003) :

a. Fine screen

Filter halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran bukaan 2,3 - 6 mm. Biasanya digunakan untuk pra-perawatan atau perawatan primer. Fine Screen terdiri dari Screen yang tetap dan yang dapat digerakkan. Fixed Screen atau static screen dipasang secara permanen dengan posisi vertikal, miring, atau horizontal, dan harus dibersihkan dengan penggaruk, gigi, atau kuas. Pada saringan bergerak pembersihan dilakukan secara terus menerus selama pengoperasian (Qasim, 1999). Berbagai jenis *microscreens* juga telah dikembangkan seiring berjalan waktu untuk meningkatkan pengolahan limbah dari instalasi pengolahan sekunder. Jenis saringan halus yang dikembangkan adalah ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum) dan anak tangga (step type) (Metcalf & Eddy, 2003).

b. Micro Screen

Microscreens merupakan saringan yang berukuran kurang dari 0.5 μm digunakan untuk zat atau material yang mengapung, alga, dan lainnya yang berukuran kecil.

c. Coarse Screen

Coarse Screen memiliki ukuran 6–150 mm digunakan untuk pelindung pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari penyumbatan dan kerusakan. *Coarse Screen* digunakan pada pengolahan pertama. Jenis bahan yang digunakan pada *Coarse Screen* adalah Bar Racks (Bar Screen), anyaman kasar saringan, dan kominutor (Qasim, 1999). Pembersihan pada saringan kasar dapat dilakukan secara manual dan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industr kecil maupun sedang. Penyaringan dilakukan oleh baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran.

Dalam perencanaan ini screen yang digunakan adalah screen jenis *coarse screen*. 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. Pembersihan screen sendiri juga 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, 2004, WWET, and Reuse 4th edition)

2.2.2 Pengolahan Pertama (Primary Treatment)

2.2.2.1 Bak Penampung

Tujuan proses penampung adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak penampung tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Penampung harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Proses dalam bak penampung bertujuan untuk menstabilkan aliran limbah yang akan diolah pada unit selanjutnya. Hal ini agar IPAL tetap stabil dan tidak terjadi over loading yang dapat mengganggu proses kimia dan biologi. Bak penampung di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak penampung, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004).



Gambar 2.3 Bak Penampung

(Sumber: Anonim, n.a.)

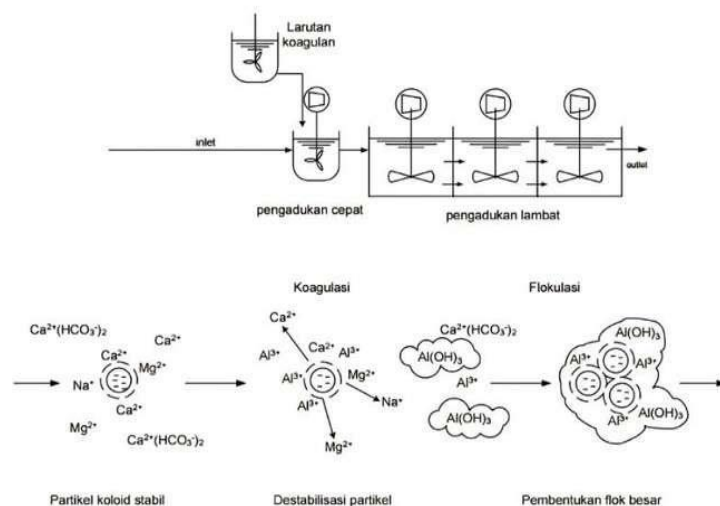
Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

Bagian-Bagian	Range	Sumber
Kecepatan aliran (v)	0,6 – 2,5 m/s	Qasim, 1999
Freeboard	10-20%	
Waktu detensi (td)	24 jam	
Kedalaman	4 meter (optimal)	

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 & Assomadi, 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. 4 Proses Koagulasi-Flokulasi

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

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 & Assomadi, 2012).



Gambar 2. 5 Jar Test Apparatus

(Sumber: Depolab Indonesia, n.a.)

➤ **Proses Pengadukan**

Proses 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 & Assomadi, 2012).

• **Jenis pengadukan**

a. Pengadukan cepat

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

- 1) Untuk proses koagulasi flokulasi

Waktu detensi = 15 – 45 menit

G = 700 – 1000 detik⁻¹

- 2) Untuk penurunan kesadahan (pelarut kapur/soda)

Waktu detensi = 20 – 60 detik

G = 700 – 1000 detik⁻¹

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

Waktu detensi = 0,5 – 6 menit

G = 700 – 1000 detik⁻¹

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan cara, yaitu:

1. Pengadukan mekanis

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

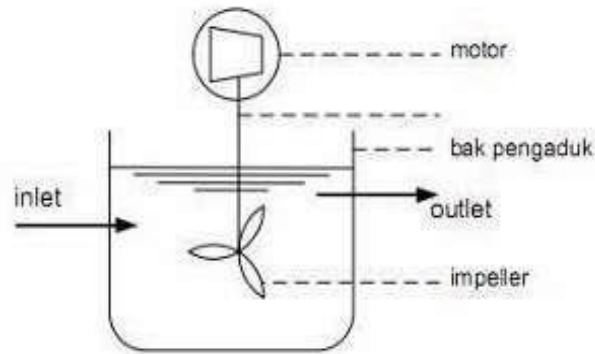


(a) Propeller 2 blade (b) Propeller 3 blade

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 .



Gambar 2. 7 Pengadukan Cepat dengan alat pengaduk

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

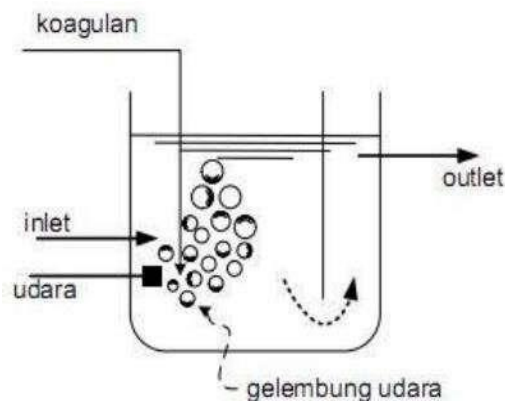
Tabel 2. 3 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

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

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

2. 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.

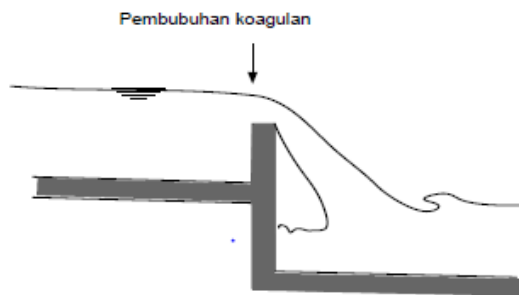


Gambar 2. 8 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

3. Pengadukan hidrolis

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat mengharuskan 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.



Gambar 2. 9 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

b. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel berukuran besar. Pengadukan lambat digunakan pada proses flokulasi, untuk pembesaran inti gumpalan. Gradien kecepatan diturunkan secara perlahan-lahan agar gumpalan yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang

lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada karakteristik flok dan nilai gradien kecepatan.

Secara umum, pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan kurang dari 100 per detik selama 10 hingga 60 menit. Secara spesifik, nilai G dan t_d bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Masduqi & Assomadi, 2012).

1) Untuk proses koagulasi flokulasi

Waktu detensi = 15 – 45 menit

G = 10 – 75 detik^{-1}

2) Untuk air sungai

Waktu detensi = minimum 20 menit

G = 10-50 detik^{-1}

3) Untuk air waduk/reservoir

Waktu detensi = 30 menit

G = 10-75 detik^{-1}

4) Untuk flokulator 3 kompartemen

- G kompartemen 1 = nilai terbesar

- G kompartemen 2 = 40% G kompartemen 1

- G kompartemen 3 = nilai terkecil

5) Untuk penurunan kesadahan (pelarut kapur/soda)

Waktu detensi = minimum 30 menit

G = 10 – 50 detik^{-1}

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

Waktu detensi = 15-30 menit

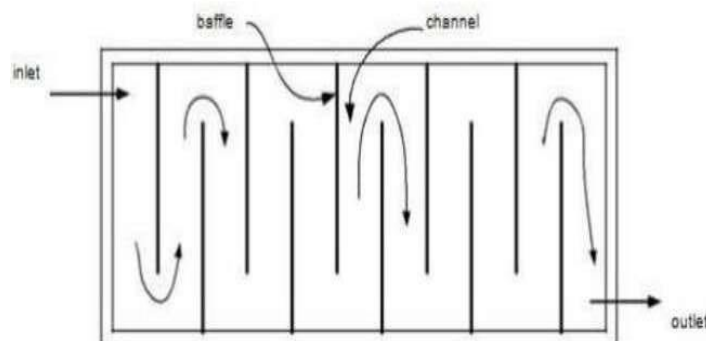
G = 20 – 75 detik^{-1}

Untuk pengadukan lambat sendiri memiliki 3 cara pengadukan, yakni pengadukan secara mekanik, pneumatis dan pengadukan secara hidrolis.

1. 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 lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (baffled channel, perforated wall, gravel bed dan sebagainya (Masduqi & Assomadi, 2012).



Gambar 2. 10 Baffle Channel

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

2. Pengadukan mekanis

Pengadukan mekanis merupakan suatu metode yang paling umum digunakan untuk flokulasi. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel) baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



(a) Tampak atas paddle wheel



(b) Tampak samping paddle wheel

Gambar 2. 11 Bentuk paddle wheel
(Sumber: Qasim, S. R., 1985)

3. Pengadukan pneumatis

Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan lambat harus mempunyai tekanan yang cukup kecil. Hal ini dikarenakan dalam flokulasi memerlukan tekanan gelembung udara yang relatif kecil agar tidak merusak flok-flok yang sudah terbentuk dari proses koagulasi (Masduqi & Assomadi, 2012).

2.2.2.3 Sedimentasi

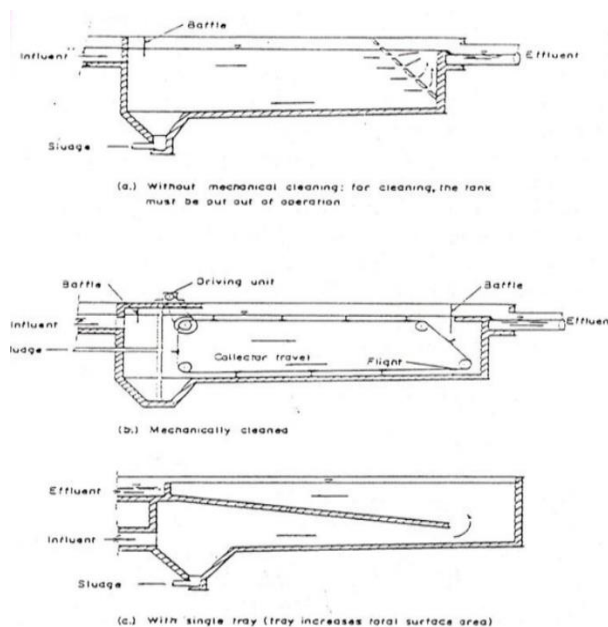
Sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan dari koagulasi flokulasi (Masduqi & Assomadi, 2012). Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50 – 80% dari suspended solid dan 25 – 50% BOD. 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 penelitian yang dilakukan oleh Song et al. 2000, sedimentasi juga mampu menyisihkan COD hingga 41,5%. Penyisihan COD pada bak sedimentasi memiliki kaitan dengan menurunnya kadar TSS di bak sedimentasi setelah proses koagulasi-flokulasi. TSS (Total Suspended Solids) berkontribusi pada nilai COD (Chemical Oxygen Demand) karena banyak partikel padatan tersuspensi dalam air limbah mengandung bahan organik yang dapat dioksidasi, sehingga meningkatkan kebutuhan oksigen kimiawi. Adapun jenis-jenis bak sedimentasi ada beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

1. Bentuk persegi (Rectangular)

Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan, saluran inlet dengan port dan orifice, saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*.

2. Bentuk lingkaran (Circular)

Pada tangki circular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur lingkaran 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, 2004). Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: surface loading rate (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. 12 Bak Sedimentasi
(Sumber: Anonim, n.a.)

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

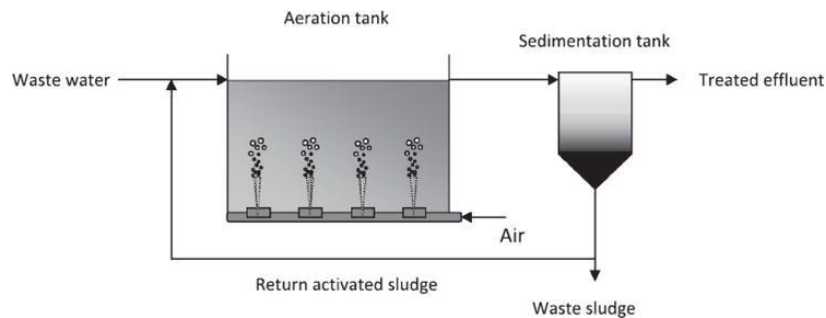
Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,2 – 1,2	2	Jam	1,5 – 2,5	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	gal/ft ² s	800 – 1.200	1.000	m ³ /m ² s	30 – 50	40
Puncak	gal/ft ² s	2.000 – 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

(Sumber: Anonim, n.a.)

2.2.3 Pengolahan kedua (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 CO₂ dan H₂O, NH₄, dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan. 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. 13 Lumpur Aktif

(Sumber : Anonim, n.a.)

Metode pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. 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 analisis laboratorium. 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 di metabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 , NH_4 dan H_2O .

Unit lumpur aktif diketahui mampu menyisihkan parameter BOD, COD, dan TSS dalam jumlah besar. Namun, hal ini bergantung pada lama waktu aerasi, sistem transfer oksigen yang merata, jenis air limbah yang diolah dan jenis mikroorganisme yang dibiakkan. Menurut Marcos von Sperling (2007), lumpur aktif mampu menyisihkan beban BOD sebesar 90-95%, COD sebesar 70-90% dan TSS sebesar 90-95%. Menurut Qasim (1985), unit ini mampu menyisihkan BOD sebesar 85-95%, COD 70-85%, dan TSS 85%-95%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Fitri, Mustika dan Srie (2007), penyisihan beban BOD hampir menyentuh 97% dan penyisihan COD hingga 95%. Penyisihan terhadap TSS terjadi karena TSS didegradasi oleh mikroorganisme dalam lumpur aktif, asupan oksigen dari aerasi membantu perkembangbiakan mikroorganisme sehingga memperbanyak penyisihan terhadap TSS (Sukumaran et al, 2015).

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

- a. Konvensional. Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, secondary clarifier dan recycle sludge. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.
- b. Non konvensional
 - 1) *Step Aeration*:
 - 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 di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek
 - 2) *Tapered Aeration*. Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.
 - 3) *Contact Stabilisation*. Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :
 - *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
 - *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).
 - 4) *Pure Oxygen*. Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.
 - 5) *High Rate Aeration*. Kondisi ini tercapai dengan meningkatkan rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.
 - 6) *Extended Aeration*. Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.
 - 7) *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:

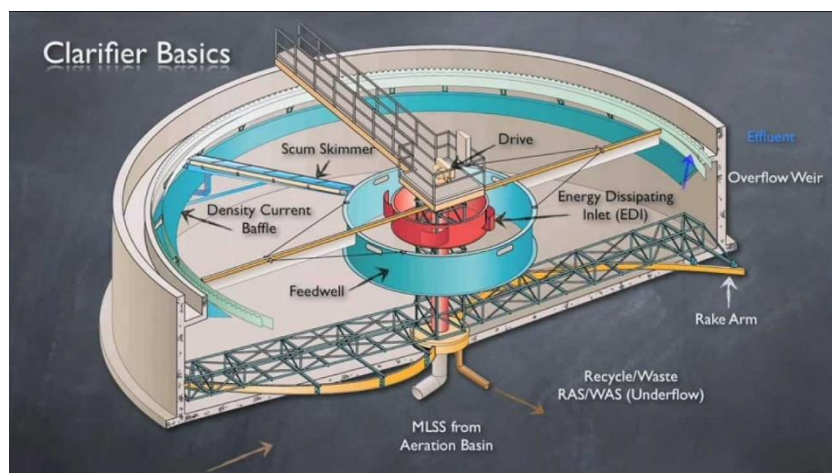
- a. Oksigen. Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reactor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.
- b. 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. Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan phospor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).
 - Mikro nutrient. Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni . Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Y.P. Ting, H. Imai and S. Kinoshita, 1994).
- c. Komposisi organisme. Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.
- d. pH. Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5-7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H₂SO₄ atau NaOH maupun larutan kapur.

e. Temperatur. Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair (Hammer, Mark J, 1931). Adapun parameter penting untuk design activated sludge adalah:

- F / M ratio. Merupakan perbandingan antara substrat (Food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkulasi (R). Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.
- Konsentrasi substrat yang masuk ke tangki aerasi (C_0).
- Waktu detensi (T_d). T_d adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi.
- Volume bak aerasi (V).

2.2.4 Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

2.2.4.1 Clarifier



Gambar 2. 14 Clarifier

(Sumber : Virlanda UNIPA SBY, n.a.)

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

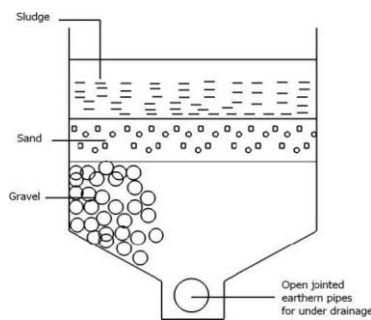
Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blades* atau bilah pengeruk yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga lumpur 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 pada *secondary clarifier* adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah kembali.

2.2.5 Pengolahan Lumpur (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:

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



Gambar 2. 15 Pengolahan Lumpur

(Sumber : Ahmed Aboulfotoh, 2020)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

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

Jenis-jenis unit pengolahan lumpur meliputi:

1. *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.

2. *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.
3. *Sludge Drying Bed*. *Sludge drying bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari clarifier atau thickener. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa underdrain sebagai tempat keluarnya filtrat.

2.3 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. 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 : Kehilangan tekanan pada perpipaan
 - a. Kehilangan tekanan pada perpipaan. Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
 - b. Kehilangan tekanan pada aksesoris. Cara yang mudah adalah dengan

mengekuivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang 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.