

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Karakteristik Air Limbah**

Limbah dari industri RPH mengandung larutan darah, protein, lemak dan padatan tersuspensi sehingga menyebabkan tingginya bahan organik dan nutrisi pada limbah cairnya. Karakteristik limbah diketahui dari beberapa parameter pada kualitas air. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH), parameter dari limbah cair industri RPH adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), amoniak (NH<sub>3</sub>-N), minyak dan lemak serta derajat keasaman (pH) dengan penjelasan di bawah ini.

##### **2.1.1 *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)**

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigenterlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat-zat organik yang terlarut maupun tersuspensi dalam kondisiaerobik. BOD 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. Berbeda dengan COD atau *Chemical Oxygen Demand* yang merupakan jumlah oksigen kimia yang diperlukan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Wa Atima, 2015). Parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran bahan organik pada air limbah pada umumnya adalah BOD<sub>5</sub>. Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses oksidasi biokimia pada bahan organik. Nilai parameter BOD yang distandartkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan

Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH) adalah sebesar 100 mg/L.

### **2.1.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)***

*Chemical Oxygen Demand* atau COD adalah jumlah oksigen kimiawi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi yang terkandung dalam air dan dinyatakan dalam mg/l. Semua bahan organik sengaja diurai secara kimiawi dengan oksidator kuat sehingga akan teroksidasi. Dengan demikian angka COD dan BOD akan mengetahui selisih nilai dan besarnya bahan organik yang sulit terurai pada perairan. Kemungkinan nilai COD sama dengan nilai BOD, namun pada faktanya nilai COD lebih tinggi dibandingkan nilai BOD, bahkan nilai BOD dapat dikatakan 50% dari nilai COD. Hal tersebut karena faktor dari COD yang menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada.

COD merupakan jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik dengan menggunakan pengoksidasi PAC dan *Polimer*. Pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi secara alamiah oleh mikroorganisme dapat dikatakan ukuran angka COD yang menyebabkan kandungan oksigen di dalam air berkurang (Wa Atima, 2015). Nilai parameter COD yang di standartkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH) adalah sebesar 200 mg/L. Kandungan COD seringkali memiliki nilai yang lebih tinggi dari BOD dikarenakan banyaknya bahan organik yang sulit dioksidasi secara proses biologis dan dibutuhkan proses kimiawi (Metcalf & Eddy, 2003).

### **2.1.3 *Total Suspended Solid (TSS)***

*Total Suspended Solid* atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi pada air limbah yang mengandung bahan organik dan

anorganik yang dapat disaring dengan kertas milipore berukuran pori-pori 0,45  $\mu\text{m}$ . Padatan yang tersuspensi memiliki dampak buruk pada kualitas air karena menghalangi penetrasi matahari terhadap badan air, dan menyebabkan kekeruhan air meningkat karena terganggunya pertumbuhan organisme (Jamilah, 2013). Standart baku mutu untuk parameter TSS menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH) adalah 100 mg/L.

#### **2.1.4 Amoniak ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )**

Kandungan amonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan amonia dalam air berupa amonia terlarut ( $\text{NH}_3$ ) dan ionamonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) yang tidak berionisasi akan bersifat toksik. Kadar amonia bebas meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu perairan.

Sifat toksik pada amonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi amonia pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan amonia pada pH tinggi juga akan bersifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan kadar oksigen terlarut akan meningkatkan toksisitas amonia dalam perairan (Al Kholif, 2007).

Kandungan amonia ( $\text{NH}_3$ ) bersifat mudah terlarut dalam air. Ion ammonium adalah bentuk transisi dari amonia. Sumber amonia yang ada di perairan adalah pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air dan berasal dari dekomposisi bahan organik seperti mikroba, proses ini disebut dengan proses amonifikasi (Aini *et al*, 2017). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH), nilai kandungan parameter amonia yang distandartkan adalah sebesar 25 mg/L.

#### **2.1.5 Minyak dan Lemak**

Minyak dan lemak merupakan campuran dari senyawa gliserol atau gliserin dengan asam lemak. Asam lemak gliserin yang cair disebut dengan minyak dan yang berbentuk padat disebut lemak. Minyak dan lemak adalah senyawa organik yang tidak dapat larut dalam air. Jika minyak dan lemak tidak dihilangkan sebelum air limbah di proses lebih lanjut, maka dapat mengganggu kehidupan biologis di perairan permukaan dan akan membuat lapisan yang tembus cahaya (Metcalf & Eddy, 2003). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan (RPH), nilai kandungan parameter minyak dan lemak yang distandartkan adalah sebesar 15 mg/L.

#### **2.1.6 Derajat Keasaman (pH)**

Derajat keasaman suatu air limbah dapat diukur dengan menggunakan pH meter. Konsentrasi ion hidrogen (pH) merupakan parameter paling penting dalam kualitas air dan air limbah. pH sangat berperan dalam kehidupan mikrobiologi. Air normal limbah yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai kandungan pH sekitar 6,5-7,5. Air akan mengalami sifat basa atau asam tergantung dari besar kecilnya nilai pH. Pengaruh pH terhadap air limbah apabila angka pH terlalu rendah atau tinggi akan mengganggu kehidupan biota akuatik, sehingga ekosistem biotapada air limbah akan mati. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Daging pH normal pada pH 6-9.

### **2.2 Unit Pengolahan Limbah Cair**

#### **2.2.1. Pengolahan Awal (*Pre-treatment*)**

Pengolahan awal dilakukan untuk menghilangkan padatan kasar dan menjaga unit pengolahan selanjutnya mengalami kerusakan karena benda asing. Pada awal pengolahan air buangan

terdapat tahapan yang bertujuan untuk menghilangkan, menyisihkan, dan menghancurkan padatan besar atau objek yang kasat mata agar dapat tersaring secara mudah pada unit yang digunakan. Objek tersebut umumnya berupa sampah plastik, ranting pohon, daun, dan ikan. Selain untuk menghilangkan padatan besar, pengolahan awal dibutuhkan untuk melindungi unit pengolahan selanjutnya dari kerusakan akibat benda asing (Reynold, 1996). Unit proses pengolahan untuk *pre treatment* untuk kawasan industri yaitu sebagai berikut:

### **1. Saluran Pembawa**

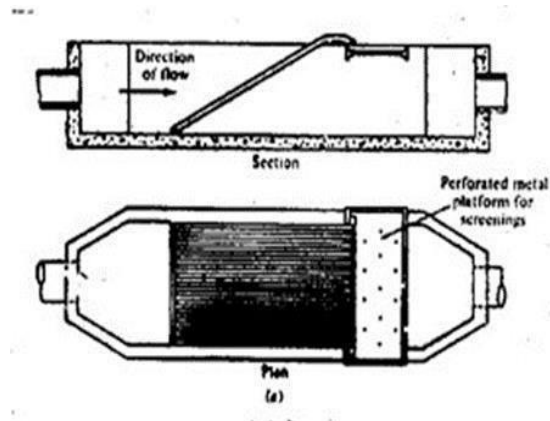
Saluran pembawa adalah saluran yang menyalurkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan 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 (*atmosfer*). 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 (*atmosfer*). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem *sewerage*. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.

## 2. *Screen*

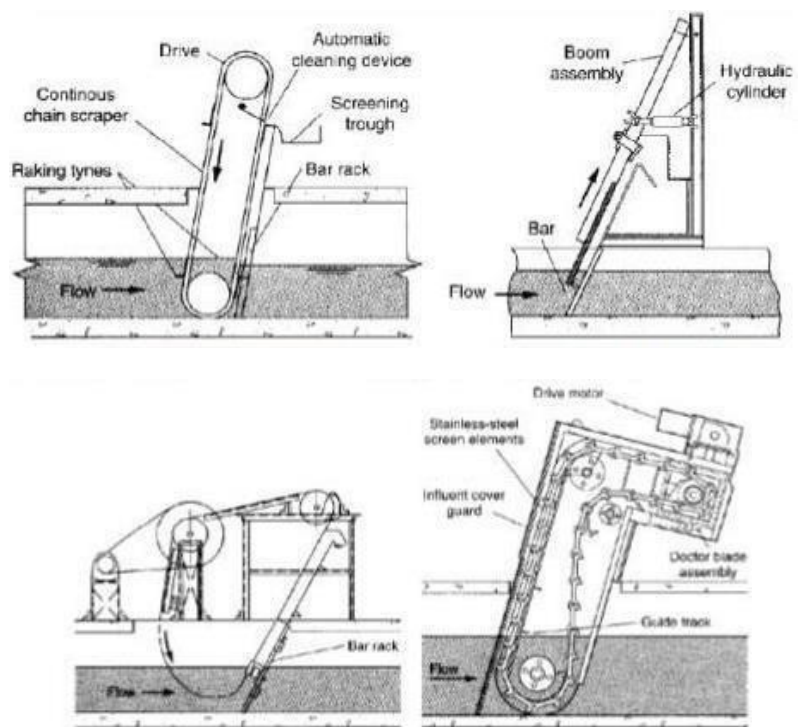
*Screen* bertujuan untuk menyisihkan zat padat yang kasar yang terdapat pada air limbah dengan menggunakan sekat berjarak, agar padatan tersebut tersangkut dan tidak mengganggu pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003). Bagian-bagian dari *screen* terdiri dari batang-batang yang dipasang secara paralel yang biasa disebut sebagai *bar rack* atau *screen kasar* yang digunakan untuk meremovalkan bahan-bahan yang kasar. Adapun tipe-tipe *screen* yang digunakan dalam pengolahan air limbah, dapat dilihat pada bagan berikut ini.

### a. *Coarse Screen*

Dalam pengolahan air limbah, penyaring kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. Screening dengan pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari *stainless steel* atau dari plastik. Terdapat beberapa tipe *screen* dari cara pembersihannya, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Tipe Screen Pembersihan Secara Manual  
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2.2 Tipe Screen dengan Pembersihan Secara Mekanik  
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Terdapat kriteria perencanaan untuk mendesain coarse screens, terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Kriteria Desain *Coarse Screen*

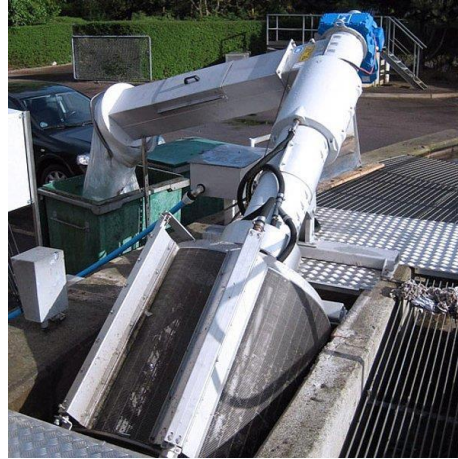
| Parameter                    | U.S Customary Units |         |          | SI Units           |         |         |
|------------------------------|---------------------|---------|----------|--------------------|---------|---------|
|                              | Metode Pembersihan  |         |          | Metode pembersihan |         |         |
|                              | Unit                | Manual  | Mekanis  | Unit               | Manual  | Mekanis |
| Ukuran batang                |                     |         |          |                    |         |         |
| Lebar                        | In                  | 0,2-0,6 | 0,2-0,6  | mm                 | 5,0-15  | 5,0-15  |
| Kedalaman                    | In                  | 1,0-1,5 | 1,0-1,5  | mm                 | 25-38   | 25-38   |
| Jarak antar batang           | In                  | 1,5-2,0 | 0,3-0,6  | mm                 | 25-50   | 15-75   |
| Kemiringan terhadap vertikal | °                   | 30-45   | 0-30     | °                  | 30-45   | 0-30    |
| Kecepatan                    |                     |         |          |                    |         |         |
| Maksimum                     | Ft/s                | 1,0-2,0 | 2,0-3,25 | m/s                | 0,3-0,6 | 0,6-1,0 |
| Minimum                      | Ft/s                |         | 1,0-1,6  | m/s                |         |         |
| Headloss                     | In                  | 6       | 6-2,4    | Mmm                | 150     | 150-600 |

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

b. *Fine screens*

*Fine screen* atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. *Screen* ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Premilinary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*) pada gambar 2.3, atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/*primary clarifier*) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m<sup>3</sup>/dt. *Screen* tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.





Gambar 2.3 *Rotary Drum Fine Screens*  
(Sumber: *Huber Technology Waste Water Solution*)

c. *Microscreens*

*Microscreen* bertujuan untuk menyisihkan padatan halus serta zat atau material yang mengapung seperti algae yang berukuran kurang dari 0,5  $\mu\text{m}$ . Prinsip yang digunakan pada segala jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0.3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depansaringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20 mm - 40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2003).

### 3. **Bak Penampung**

Bak penampung bertujuan untuk menampung air sementara dan padatan kasar yang mudah mengendap dan terdapat pada aliran air limbah seperti pasir (Metcalf & Eddy, 2003). Selain bertujuan untuk menampung air, bak penampung juga berfungsi untuk mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah

yang akan diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja bak penampung atau bak penampung ini adalah ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung. Pada bak penampung debit air limbah diatur agar dapat memenuhi kriteria perencanaan pada unit bangunan selanjutnya.

### **2.2.2. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)**

#### **1. Flotasi**

Flotasi bertujuan untuk memisahkan antara minyak atau lemak dengan air. Massa jenis yang relatif rendah akan membuat minyak atau lemak mengapung pada permukaan air. Minyak atau lemak yang mengapung akan digerus dengan *scraper* dan dipisahkan dari air (Metcalf & Eddy, 2003).

Unit flotasi memiliki banyak tipe salah satunya adalah *Dissolved Air Flotation* (DAF) yang merupakan proses pemisahan padatan, minyak, dan kontaminan tersuspensi lainnya dengan menggunakan gelembung udara. Udara yang ditambahkan ke dalam air akan tercampur dengan aliran air dan terlepas dari larutan ketika terjadi kontak dengan kontaminan. Dimana gelembung udara menempel pada padatan, lalu meningkatkan daya apung, dan mengangkat padatan ke permukaan air.

Pada unit DAF ini udara dilarutkan di dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ketekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang sangat halus (Metcalf & Eddy, 2003). Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi ini, semakin besar ukuran gelembung udara maka kecepatan naiknya juga akan semakin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan

partikel tidak berjalan dengan baik dan proses flotasi menjadi tidak efektif.

Mekanisme pemisahan antara minyak dan lumpur dengan air limbah bisa berlangsung secara fisik, yaitu tanpa penggunaan bahan untuk membantu percepatan flotasi, hal ini bisa terjadi karena partikel-partikel suspensi yang terdapat dalam air limbah akan mengalami tekanan ke atas sehingga mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih rendah dibanding berat jenis air limbah. Selain itu, bisa juga dilakukan dengan penambahan bahan, yaitu udara atau bahan polimer yang diinjeksikan ke dalam cairan pembawanya, yang dapat mempercepat laju partikel ringan menuju permukaan. Untuk keperluan flotasi, udara yang diinjeksikan jumlahnya relatif sedikit ( $0,2 \text{ m}^3$  udara) untuk setiap  $\text{m}^3$  air limbah. Semakin kecil ukuran gelembung udara maka proses flotasi akan semakin sempurna. Cara kerja dari unit pengolahan flotasi adalah ketika air limbah yang sudah dialirkan menuju bak penampung, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak flotasi yang bertujuan untuk menyisahkan kandungan minyak dan lemak.

## 2. Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi – Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Shammas Wang, Lawrence K., 2016).

Koagulan atau Flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi

muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada Tabel 2.2 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2.2 Beberapa Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

| Nama                       | Formula                                                                    | Bentuk           | Reaksi dengan Air | pH Optimum |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------|
| Alumunium Sulfat           | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$<br>$x = 14, 16, 18$ | Bongkahan, bubuk | Asam              | 6,0 – 7,8  |
| Sodium Aluminat            | $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$                                         | Bubuk            | Basa              | 6,0 – 7,8  |
| Polyalumunim Chloride, PAC | $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$                                 | Cairan, bubuk    | Asam              | 6,0 – 7,8  |
| Ferri Sulfat               | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$                     | Kristal Halus    | Asam              | 4 – 9      |
| Ferri Klorida              | $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                  | Bongkah, cairan  | Asam              | 4 – 9      |
| Ferro Sulfat               | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$                                  | Kristal halus    | Asam              | > 8,5      |

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan yaitu:

a. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis

konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral).

b. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

c. Dosis Koagulan

Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Dosis koagulan persatuan unit kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflok yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

d. Pengadukan (*mixing*)

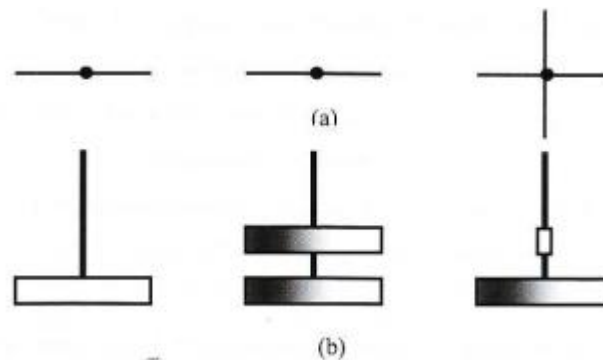
Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflok. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

e. Pengaruh Garam

Garam-garam ini dapat mempengaruhi proses suatu penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya.

Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi.

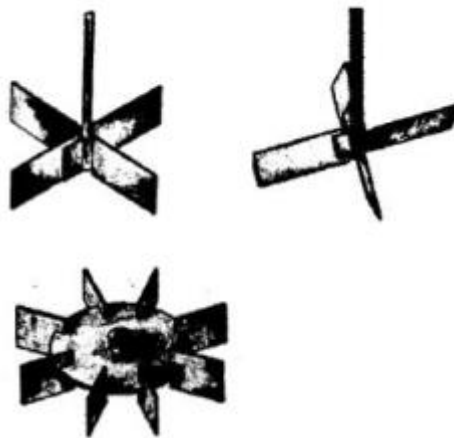
Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal) yang dijelaskan pada tabel 2.4, *turbine* yang dijelaskan pada tabel 2.5, dan *propeller* (balong-baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu  $G$  dan  $td$ . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta  $KL$  dan  $KT$ .



Gambar 2.4 Tipe *Paddle*

(a) Tampak atas, (b) Tampak samping

(Sumber: Masduqi *et al.*, 2012)



Gambar 2.5 Tipe Turbine

(a) *Turbine blade lurus*, (b) *Turbine blade dengan piringan*,  
(c) *Turbine dengan blade menyerong*  
(Sumber: Qasim *et al.*, 1999)



Gambar 2.6 Tipe Propeller

(a) *Propeller 2 blade*, (b) *Propeller 3 blade*  
(Sumber: Qasim *et al.*, 1999)

Tabel 2.3 Kriteria Impeller

| Tipe Impeller  | Kecepatan Putaran | Dimensi                                                             | Ket |
|----------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Paddle</i>  | 20 – 150 rpm      | Diameter : 50 – 80% lebar bak<br>Lebar : 1/6 – 1/10 diameter paddle |     |
| <i>Turbine</i> | 10 – 150 rpm      | Diameter : 30 – 50% lebar bak                                       |     |

| Tipe Impeller | Kecepatan Putaran | Dimensi               | Ket                            |
|---------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Propeller     | 400 – 1750 rpm    | Diameter : maks 45 cm | Jumlah <i>pitch</i> 1 – 2 buah |

(Sumber: Reynolds, 1996)

Tabel 2.4 Nilai Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

| Waktu Pengadukan, td (detik) | Gradien Kecepatan (detik <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------------------|
| 20                           | 100                                      |
| 30                           | 900                                      |
| 40                           | 790                                      |
| 50 ≥                         | 700                                      |

(Sumber: Reynolds, 1996)

Tabel 2.5 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

| Jenis Impeller                                         | KL    | KT   |
|--------------------------------------------------------|-------|------|
| Propeller, putch of 1, 3 blades                        | 41,0  | 0,32 |
| Propeller, putch of 2, 3 blades                        | 43,5  | 1,00 |
| Turbine, 4 flat blades, vaned disc                     | 60,0  | 5,31 |
| Turbine, 6 flat blades, vaned disc                     | 65,0  | 5,75 |
| Turbine, 6 curved blades                               | 70,0  | 4,80 |
| Fan turbine, 6 blades at 45°                           | 70,0  | 1,65 |
| Shrouded turbine, 6 curved blades                      | 97,5  | 1,08 |
| Shrouded turbine, woth stator, no baffles              | 172,5 | 1,12 |
| Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_i/W_i = 4$ | 43,0  | 2,25 |
| Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$                  | 36,5  | 1,70 |
| Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$                  | 33,0  | 1,15 |
| Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$                  | 49,0  | 2,75 |
| Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$                  | 71,0  | 3,82 |

(Sumber: Reynolds, 1996)

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang berukuran lebih besar. Pada flokulasi, kontak antar partikel melalui tiga mekanisme, yaitu:

1. *Thermal motion*, yang dikenal dengan *Brownian Motion* atau difusi atau disebut sebagai *Flocculation Perikinetik*.



2. Gerakan cairan oleh pengadukan.
3. Kontak selama pengendapan.

Pengadukan lambat (agitasi dan *stirring*) digunakan dalam proses flokulasi, untuk memberi kesempatan kepada partikel flok yang sudah terkoagulasi untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar. Selain itu, untuk memudahkan flokulan untuk mengikat flok-flok kecil dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik<sup>-1</sup>) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Camp) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah :

- a. Air sungai
  - Waktu detensi = minimum 20 menit
  - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- b. Air waduk
  - Waktu detensi = 30 menit
  - $G = 10-75 \text{ detik}^{-1}$
- c. Air keruh
  - Waktu detensi dan G lebih rendah
- d. Jika menggunakan garam besi sebagai koagulan
  - G tidak lebih dari 50 detik<sup>-1</sup>
- e. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
  - G kompartemen 1: nilai terbesar
  - G kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
  - G kompartemen 3: nilai terkecil
- f. Penurunan kesadahan
  - Waktu detensi = 30 menit

- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- g. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
  - Waktu detensi = 15 – 30 menit
  - $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
  - $GT_d = 10.000 - 100.000$  (Masduqi et al., 2012)

### 3. Bak Pengendap I

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Masduqi *et al.*, 2012).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid tanpaantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran air
2. Suhu udara permukaan
3. Suhu air yang mempengaruhi kekentalan zat
4. Suhu terstratifikasi dari iklim
5. Bilangan Eddy

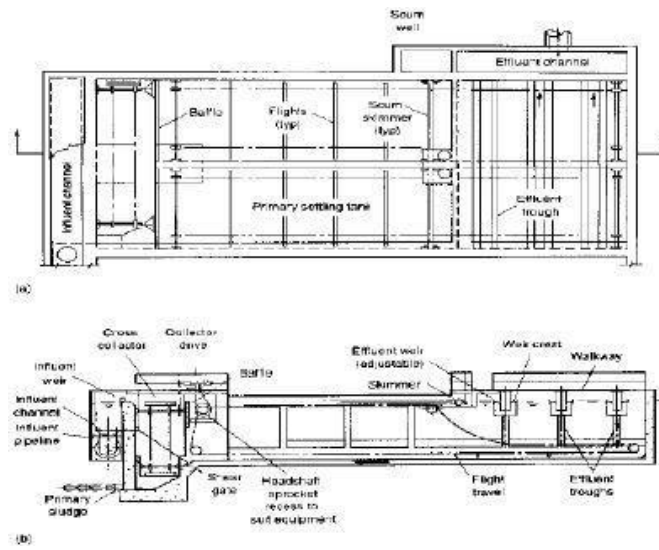
Desain dari bak pengendap 1 sendiri memiliki beberapa jenis, yaitu :

#### 1. *Rectangular*

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

- a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- b. Saluran inlet dengan *port* dan *orifice*

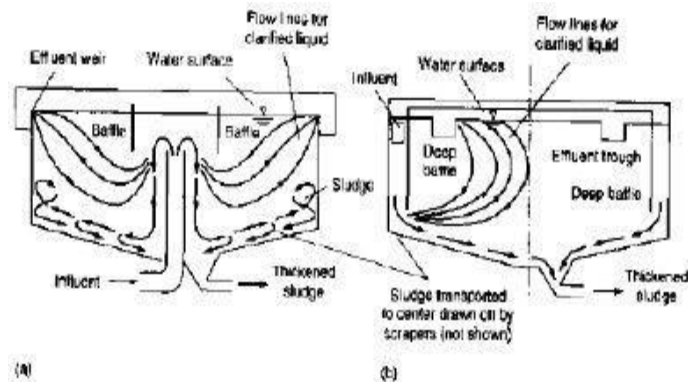
c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*



Gambar 2.7 Bak Pengendap *Rectangular* (a) Denah  
(b) Potongan

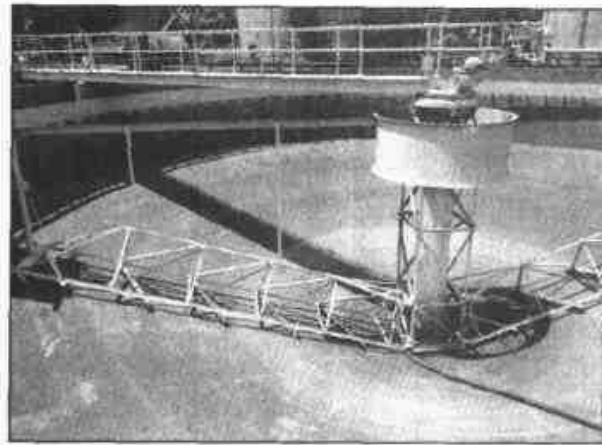
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

## 2. Circular



Gambar 2.8 Bak Pengendap *Circular*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2.9 Bak Pengendap *Circular*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Pada tangki *circular* 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).

Tabel 2.6 Kriteria Desain Bak Pengendap

| Item                                                               |                       | U.S customary units |       | S.I units                        |         |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------|----------------------------------|---------|
| Unit                                                               | Rentang               | Typical             | Unit  | Rentang                          | Typical |
| <i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i> |                       |                     |       |                                  |         |
| Waktu tinggal                                                      | Jam                   | 1,2-1,2             | 2     | Jam                              | 1,5-1,2 |
| Kecepatan alir                                                     |                       |                     |       |                                  |         |
| Rata-rata                                                          | Gal/ft <sup>2</sup> s | 800-1200            | 1000  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s | 30-50   |
| Puncak                                                             | Gal/ft <sup>2</sup> s | 2000-3000           | 2500  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s | 80-120  |
| <i>Primary settling with waste activated sludge return</i>         |                       |                     |       |                                  |         |
| Waktu tinggal                                                      | Jam                   | 1,5-2,5             | 2     | Jam                              | 1,5-2,5 |
| Kecepatan alir                                                     |                       |                     |       |                                  |         |
| Rata-rata                                                          | Gal/ft <sup>2</sup> s | 600-800             | 1000  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s | 24-32   |
| Puncak                                                             | Gal/ft <sup>2</sup> s | 1200-1700           | 1500  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s | 48-70   |
| Weir loading                                                       | Gal/ft <sup>2</sup> s | 10000-40000         | 20000 | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s | 125-500 |

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

### 2.2.3. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

#### - *Activated Sludge*

Pengolahan *activated sludge* atau lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan

organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan mikroba sebagai pengurai. Bakteri dan mikroba ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas. Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut:

a. Konvensional

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

b. Non-konvensional

- *Step Aeration*

*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 tanki aerasi dengan maksud untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

- *Tapered Aeration*

*Tapered aeration* hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara titik awal lebih tinggi.

- *Contact Stabilization*

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 stabilisasi).

- *Pure Oxygen*

*Pure oxygen* diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan *td* pendek.

- *High Rate Aeration*

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

- *Extended Aeration*

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

#### 2.2.4. Pengolahan Lanjutan (*Tertiary Treatment*)

- *Clarifier*

*Clarifier* digunakan untuk pengolahan lebih lanjut apabila pada pengolahan sebelumnya masih terdapat zat atau kandungan yang masih berbahaya apabila dibuang ke badan air atau ke lingkungan. Pengolahan ini biasanya dilakukan pada pabrik yang menghasilkan air limbah yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan lainnya. Unit bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya adalah proses lumpur aktif.

Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada pengolahan bangunan *clarifier* biasanya 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.

#### 2.2.5. Pengolahan Lumpur

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

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

- a. Mereduksi kadar lumpur
- b. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.
- c. Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur.



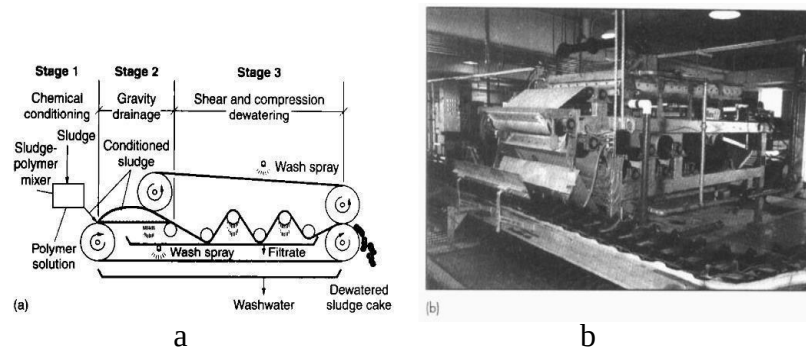
Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu *belt-filter press*, yang selengkapnya akan dijelaskan di bawah ini:

- *Belt Filter Press*

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

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt-filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Belt-filter press* ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan

pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2.10 *Belt Press Dewatering* (a) bagian dasar *Belt Press Dewatering* (b) instalasi *Belt Press Dewatering*  
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

*Belt-Filter Press* mempunyai ukuran lebar belt dari 0.5-3.5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar belt antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkaHidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.

### 2.3 Persen Removal

Tabel 2.7 Persen Removal Unit Pengolahan

| No. | Unit                                 | Beban Pencemar   | Range Kemampuan Penyisihan | Sumber Literatur                                                                                                                                    |
|-----|--------------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | <i>Dissolved Air Flotation</i> (DAF) | Minyak dan lemak | 70-93%                     | Eckenfelder , W. Wesley, Jr., 2000, <i>Industrial Water Pollution Control 3<sup>rd</sup> Edition</i> , Mc Graw-Hill Book Company, Singapore. 117 P. |
| 2   | Sedimentasi I                        | BOD              | 50-70%                     | Metcalf and Eddy, 2014. <i>Waste Water Engineering Treatment and Reuse 5<sup>th</sup></i> , McGraw-Hill Education. 382 P.                           |
|     |                                      | COD              | 25-40%                     |                                                                                                                                                     |
| 3   | <i>Activated Sludge</i> Konvensional | BOD              | 90%                        | Qasim, Syed R. 1999. <i>Wastewater Treatment and Reuse</i> . Guang Zhu. 198 P.                                                                      |
|     |                                      | COD              | 85-90%                     | Von Sperling, M., 2007. <i>Activated sludge and aerobic biofilm reactors</i> . IWA publishing. 17 P.                                                |
|     |                                      | TSS              | 90%                        | Qasim, Syed R. 1999. <i>Wastewater Treatment and Reuse</i> . Guang Zhu. 198 P.                                                                      |

| No. | Unit | Beban Pencemar | Range Kemampuan Penyisihan | Sumber Literatur                                                                                     |
|-----|------|----------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |      | NH3-N          | 85-95%                     | Von Sperling, M., 2007. <i>Activated sludge and aerobic biofilm reactors</i> . IWA publishing. 13 P. |

(Sumber: Data Perencanaan, 2021)

## 2.4 Profil Hidrolis

Perhitungan profil hidrolis dilakukan untuk menetapkan posisi vertikal setiap unit IPAL pada lahan yang disediakan dengan cara menghitung kehilangan tekanan (*head loss*) akibat aliran dalam unit-unit IPAL ketika beroperasi. Tujuan lain pada perhitungan hidrolis adalah untuk menentukan lokasi ketinggian atau elevasi dari setiap unit IPAL yang akan dibangun. Pada umumnya penetapan elevasi dilakukan secara mundur dimulai dari elevasi muka air di badan penerima sampai ke elevasi pipa pengumpul air limbah. Gambar profil hidrolis biasanya menggunakan gambar horizontal dan vertikal yang berbeda (Buku B PUPR, 2018).

Dalam proses analisis profil hidrolis setidaknya perencanaan harus memerhatikan tiga hal, yakni posisi elevasi muka air di setiap unit dan saluran, *head*, dan *head loss* (Buku B PUPR, 2018).

### 1. *Head*

Head dapat diartikan sebagai tinggi kolom air yang dapat terangkat akibat adanya tekanan air tersebut. Jika sebuah sistem reservoir memiliki tekanan sebesar 14,7 psi (*pounds per square Inch*) atau  $\pm 1$  Bar, maka air dapat memiliki *head* sebesar 10 m. Hubungan antara tekanan dan head dapat diekspresikan melalui persamaan berikut ini:

$$P = 0,0981 H SG$$

di mana:

$P$  = Tekanan (Barr)

$H$  = *head* (m)

$SG$  = *specific gravity* fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

Dalam penentuan total head terdapat beberapa komponen yang harus diperhitungkan, yakni *static head*, *friction head loss*, dan *velocity head* (Buku B PUPR, 2018). Penentuan kebutuhan total head dalam perencanaan IPALD dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\text{total head} = \text{static head} + \text{friction head loss} + \text{velocity head}$$

*Static head* dapat didefinisikan sebagai jarak vertikal aktual yang dibutuhkan untuk mengangkat aliran air. Jika sebuah reservoir terletak di elevasi 100 m dan pipa efluen terletak di elevasi 250, maka *static head* sistem tersebut yakni  $250 \text{ m} - 100 \text{ m} = 150 \text{ m}$ . *Friction head* merupakan nilai yang mengilustrasikan kebutuhan energi untuk mengatasi head loss yang disebabkan karena *friction* atau gaya gesek aliran air terhadap pipa atau saluran terbuka dan aksesoris perpipaan. *Velocity head* dapat didefinisikan sebagai jarak energi yang dikonsumsi untuk mencapai dan mempertahankan kecepatan yang diinginkan dalam sistem (Buku B PUPR, 2018).

## 2. Head loss (*Friction head loss*)

- *Major Head Loss*

*Major head loss* merupakan kehilangan tekanan yang terjadi di sepanjang jaringan perpipaan akibat adanya gaya gesek fluida dengan permukaan pipa. Setidaknya terdapat empat faktor yang mempengaruhi nilai *major head loss* yakni kekasaran permukaan pipa (*roughness*), panjang pipa, diameter pipa, dan kecepatan aliran fluida (Buku B PUPR, 2018).

- *Minor Head Loss*

*Minor head loss* terjadi karena adanya gaya gesek antara fluida dan permukaan pipa akibat adanya turbulensi. *Minor head loss* dapat terjadi di aksesoris perpipaan diantaranya *valve*, perlengkapan seperti belokan,

sambungan, dan lain-lain. *Minor head loss* biasanya ditemukan dalam nilai yang relatif sangat kecil, dapat kurang dari 5% dari total head loss. Oleh karena itu, seringkali nilai *minor head loss* diabaikan oleh perencana. Namun, dalam perencanaan SPALD-T, perencana harus tetap menghitung *Minor head loss* untuk memastikan kebutuhan head untuk sistem perpompaan dapat ditentukan dengan tepat sehingga air limbah domestik dapat dialirkan sesuai perencanaan (Buku B PUPR, 2018).

### 3. *Hydraulic Grade Line* (HGL) dan *Energy Grade Line* (EGL)

Pembuatan profil hidrolis pada jaringan perpipaan (aliran gravitasi dan bertekanan) dan saluran terbuka harus dilakukan oleh setiap perencana di setiap sub-sistem pada SPALD-T. Hal ini dilakukan agar perencana maupun pemrakarsa dapat mengetahui secara detail perilaku aliran di dalam perpipaan maupun saluran terbuka. Dalam profil hidrolis setidaknya dikenal dengan dua istilah penting yakni *Hydraulic Grade Line* (HGL) dan *Energy Grade Line* (EGL) yang harus dipahami oleh setiap perencana. Analisis dua garis tersebut dapat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor elevasi bangunan dan hidrolika saluran yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. HGL dalam jaringan pipa bertekanan menggambarkan *pressure head*. Namun, di saluran terbuka, HGL dapat digambarkan sesuai dengan profil permukaan air. HGL dan EGL harus digambarkan berdasarkan perhitungan yang tepat oleh setiap perencana pada sub-sistem pengumpulan maupun sub-sistem pengolahan terpusat (Buku B PUPR, 2018).