

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kawasan Industri**

Definisi Kawasan Industri berdasarkan Undang-Undang No. 3 Tahun 2014 menjelaskan bahwa Kawasan Industri adalah kawasan tempat pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh Perusahaan Kawasan Industri. Selanjutnya, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 142 Tahun 2015 menjabarkan bahwa Kawasan Industri adalah kawasan tempat pemusatan kegiatan Industri yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh Perusahaan Kawasan Industri. Lalu menurut Marsudi Djojodipuro (1992) dalam Praktinya (2007), kawasan industri adalah lahan seluas ratusan hektar yang terbagi dalam beberapa kavling sesuai kebutuhan pengusaha dan dilengkapi fasilitas dasar seperti jalan, saluran limbah, serta gardu listrik. Kawasan ini dirancang untuk aktivitas pengolahan bahan baku agar bernilai tambah, dengan dukungan infrastruktur memadai, lokasi strategis, zoning yang tepat, serta akses transportasi yang mudah.

Kawasan industri mulai dikembangkan di Indonesia bertujuan untuk memenuhi kegiatan penanaman modal dari dalam maupun luar negeri. Perkembangan kawasan industri dimulai dari pemerintah, kemudian seiring meningkatnya investasi, pihak swasta diperbolehkan mengembangkan kawasan industri. Sejak saat itu, pertumbuhan kawasan industri berkembang pesat di Indonesia (Kwanda, 2004).

Dalam suatu kawasan industri, sarana dan prasarana yang sangat penting untuk menunjang perkembangan kawasan industri salah satunya yaitu instalasi pengolahan air limbah. Dalam instalasi pengolahan air limbah (Wastewater treatment plant) akan terjadi proses pengolahan dan pengelolaan semua limbah cair dari industri ditampung (berdasarkan influent yang diizinkan oleh pengelola di kawasan industri) dan diolah sesuai dengan standar kualitas effluent berdasarkan pemerintah, sebelum dibuang ke badan air (Kwanda, 2004).

## **2.2 Karakteristik Limbah Cair di Kawasan Industri**

Setiap industri mempunyai karakteristik limbah cair yang berbeda-beda sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan kawasan industri yang mempunyai karakteristik limbah cair yang berbeda dengan industri lainnya. Adapun beberapa karakteristik limbah cair di kawasan industri adalah sebagai berikut.

### **2.2.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>)***

*Biochemical Oxygen Demand* atau BOD adalah parameter pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan. Penguraian bahan organik diartikan bahwa bahan organik yang dibutuhkan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energi dari proses oksidasi (Sunu, 2001).

BOD dinyatakan dengan BOD<sub>5</sub> hari pada suhu 20°C dalam mg/L atau ppm. Agar bahan-bahan organik dapat dipecah secara sempurna pada suhu 20°C, dibutuhkan waktu lebih dari 20 hari, tetapi agar lebih praktis diambil waktu lima hari sebagai standar. Inkubasi 5 hari tersebut hanya dapat mengukur kira-kira 68% dari total BOD. Pemeriksaan BOD<sub>5</sub> diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik atau industri, serta untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis (Sawyer & McCarty, 1978).

Kandungan BOD<sub>5</sub> pada air buangan kawasan industri adalah 500 mg/L, sedangkan menurut standar baku mutu air limbah kawasan industri di Jawa Timur yang mengatur besar kandungan BOD<sub>5</sub> yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L.

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

*Chemical Oxygen Demand* atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia. Zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada

sampel. Zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Tchobanoglous et al., 2004).

Kandungan COD pada air buangan kawasan industri adalah 1000 mg/L, sedangkan menurut standar baku mutu air limbah kawasan industri di Jawa Timur yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L.

### **2.2.3 Derajat Keasaman (pH)**

pH (*Power of Hydrogen*) menunjukkan adanya konsentrasi ion hidrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan. Air yang biasanya digunakan untuk minum artinya netral memiliki pH = 6-9. Air dalam kondisi basa memiliki pH air pada rentang 7 – 14. Sedangkan asam akan ada pada rentang pH 0 – 7 (Effendi, 2003).

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya berada pada rentang antara 6,5 sampai 8,5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Tchobanoglous et al., 2004).

Kandungan pH pada air buangan kawasan industri adalah 10, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan pH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 6,0 – 9,0 (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

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

Padatan tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau berasal dari zat organik asam vulvat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal

dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lainlainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

*Total Suspended Solid* (TSS) merupakan sebagian dari total solid 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 1,58 µm (Tchobanoglous et al., 2004).

Kandungan TSS pada air buangan kawasan industri adalah 800 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

#### **2.2.5 Minyak dan Lemak**

Minyak dan lemak merupakan bahan (ester) dari alkohol atau gliserol (gliserin) dengan asam lemak. Gliseride asam lemak cair dan temperaturnya normal merupakan minyak, sedangkan yang gliseride asam lemak padat merupakan lemak. Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, maka dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan permukaan dan membuat lapisan tembus cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk 9 membentuk sebuah lapisan tembus cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in) (Tc, 2004).

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

Kandungan minyak dan lemak pada air buangan kawasan industri adalah 50 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 15 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

### 2.2.6 Detergen

Detergen adalah surfaktan anionik dengan gugus alkil (umumnya C9 – C15) atau garam dari sulfonat atau sulfat berantai panjang dari Natrium ( $\text{RSO}_3^- \text{Na}^+$  dan  $\text{ROSO}_3^- \text{Na}^+$ ) yang berasal dari derivat minyak nabati atau minyak bumi (fraksi parafin dan olefin) (Rahimah et al., 2020). Detergen terbuat dari bahan dasar senyawa organik yang mempunyai zat aktif permukaan (*surface active*) di dalam larutan yang secara umum disebut *surface active agent* atau *surfactant* (Said & Marsidi, 2011).

Pengolahan air limbah yang mengandung surfaktan detergen yang disarankan oleh beberapa buku teks adalah proses koagulasi dan sedimentasi, flotasi dan adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif. Surfaktan jenis LAS dan ABS sulit terbiodegradasi, walaupun ada beberapa hasil penelitian menunjukkan pengolahan air limbah yang mengandung LAS di bawah kondisi anaerobik dapat diturunkan sampai 60% dengan waktu yang relatif lebih lambat dari sabun. Pengolahan air limbah detergen dengan sistem koagulasi diikuti sedimentasi atau flotasi diikuti koagulasi dan sedimentasi banyak menggunakan zat kimia tambahan dan menimbulkan problem baru, yakni berupa lumpur yang mengandung bahan kimia dan detergen (Saifudin, 2005).

Kandungan detergen pada air buangan kawasan industri adalah 10 mg/L, di mana besar kandungan tersebut sama dengan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan detergen yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan, yaitu sebesar 10 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

### 2.2.7 Fenol

Fenol adalah bahan toksik yang bisa menghambat proses degradasi biologi oleh mikroba tertentu. Tetapi fenol dapat juga terdegradasi pada kondisi aerobik oleh bakteri methanogenesis. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 500 mg/L, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis (Metcalf & Eddy, 2004).

Fenol pada konsentrasi rendah akan digunakan oleh mikroba sebagai makanan dan terdegradasi dalam tubuh mikroba menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya seperti asam asetat, gas metana dan karbon dioksida (Thomas & Ward,

1989). Timbulnya gas tersebut dapat diketahui dari munculnya gelembunggelembung gas pada permukaan reaktor yang digunakan dan bau asam yang ditimbulkan. Sedangkan fenol pada konsentrasi tinggi justru akan menjadi racun bagi mikroba yang dapat mematikan atau menghambat kemampuan mikroba untuk mendegradasi fenol (Ariyani, 2011).

Kandungan fenol pada air buangan kawasan industri adalah 55 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan fenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

#### **2.2.8 Tembaga (Cu)**

Tembaga (Cu) adalah logam dengan warna merah muda, yang lunak dengan nomor atom 29 dan massa atom 63,546, dengan titik lebur 1083°C dan titik didih 2310°C, berjari-jari atom 1,173 Å dan berjari-jari ion sebesar 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi mudah regang dan mudah ditempa, berbentuk kristal dengan warna kemerahan dan di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas (Lahuddin, 2007).

Cu merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme, baik darat maupun perairan, namun dalam jumlah yang sedikit. Keberadaan Cu di suatu perairan umum dapat berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut. Logam ini akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia. Terlebih lagi bagi biota perairan dengan mobilitas yang rendah seperti kerang (Cahyani et al., 2012).

Pengolahan Cu dapat dilakukan dengan proses pengendapan dengan menambahkan kapur dan mengatur pH antara 9,3 – 10,3, hidroksida tembaga beserta logam-logam berat lainnya dapat mengendap sempurna. Pada pH tersebut kelarutan tembaga hidroksida adalah yang terendah yaitu 0,01 mg/L (Said, 2017).

Kandungan tembaga pada air buangan kawasan industri adalah 3 mg/L, sedangkan standart baku mutu yang mengatur besar kandungan tembaga yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 2 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013).

### **2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan**

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut Sugiharto (1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

#### **2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)**

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah-sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah. Unit pengolahan air limbah secara umum dalam pengolahan 16 pendahuluan (*pre-treatment*) diantaranya adalah intake & *Screening/shredding*, *grit removal*, *flow equalization*, pra sedimentasi, dan *quality equalization*.

##### **a) Saluran Pembawa**

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika

saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (*Slope*) (Nasoetion et al., 2017).

pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). 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. 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



**Gambar 2.1** Saluran Pembawa Terbuka dan Tertutup

Sumber: (<https://images.app.goo.gl/TyqoSzkSKLMh2qxb9> dan <https://images.app.goo.gl/dGpuVp9inWNZ5wmf6>)

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran ( $v$ ) = 0,3-2,4m/s
- Kemiringan (*Slope*) maksimal = 1,10-3m/m • Freeboard saluran = 5-30%
- Dimensi saluran direncanakan ( $Ws$ ) =  $B = 2H$
- Kekasaran saluran ( $n$ ) = 0,011-0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Table 4.2  
Harga Koefisien Manning)

**Tabel 2.1** Koefisien n Manning Untuk Saluran Pembawa

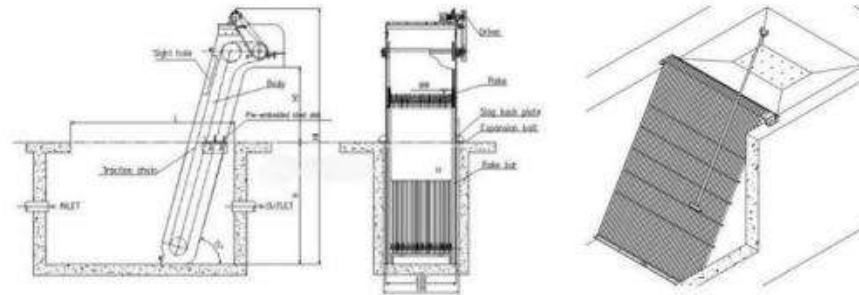
| Bahan Batas                  | n Manning |
|------------------------------|-----------|
| Kayu yang diketam (diserut)  | 0,012     |
| Kayu yang tidak diserut      | 0,012     |
| Beton yang dihaluskan        | 0,013     |
| Beton yang tidak dihaluskan  | 0,014     |
| Besi tuang                   | 0,015     |
| Bata                         | 0,016     |
| Baja yang dikeling           | 0,018     |
| Logam bergelombang           | 0,022     |
| Batu-batu                    | 0,025     |
| Tanah                        | 0,025     |
| Tanah dengan batu/rerumputan | 0,35      |
| Kerikil                      | 0,29      |

(Sumber: Spellman, F. R. (2013). Halaman 285)

**b) Screening**

*Screening* atau biasa disebut dengan *bar screen* digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran  $>0,5-1,0\text{cm}$  sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama *Screening* adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari *bar screen* adalah *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar).

Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis *bar screen* yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



**Gambar 2.2** Unit *Bar screen* Mekanik dan Manual

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2004)

Umumnya unit *bar screen* dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan  $30^{\circ} - 45^{\circ}$  dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. *Bar screen* dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik coarse screen maupun fine screen adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

| Parameter          | U.S. Customary Units |           | Satuan Internasional |         |
|--------------------|----------------------|-----------|----------------------|---------|
|                    | Metode Pembersihan   |           | Metode Pembersihan   |         |
|                    | Manual               | Mekanik   | Manual               | Mekanik |
| Ukuran batang      |                      |           |                      |         |
| Lebar              | 0,2 – 0,6            | 0,2 – 0,6 | 5 – 15               | 5 – 15  |
| Kedalaman          | 1,0 – 1,5            | 1,0 – 1,5 | 23 – 38              | 25 – 38 |
| Jarak antar batang | 1,0 – 2,0            | 0,6 – 0,3 | 25 – 50              | 15 – 75 |

| Parameter                          | U.S. Customary Units |              | Satuan Internasional |            |
|------------------------------------|----------------------|--------------|----------------------|------------|
|                                    | Metode Pembersihan   |              | Metode Pembersihan   |            |
|                                    | Manual               | Mekanik      | Manual               | Mekanik    |
| Parameter Lain                     |                      |              |                      |            |
| Kemiringan thd vertikal (derajat°) | 30 – 45              | 0 – 30       | 30 – 45              | 0 – 30     |
| Kecepatan                          | 1,0-2,0 ft/s         | 2,0-3,25ft/s | 0,3-0,6m/s           | 0,6-1,0m/s |
| Headloss (max)                     | 6 in                 | 5-24in       | 150mm                | 150-600mm  |

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 315-316)

**Tabel 2.3** Persen *Removal* Saringan Halus

| Jenis screen    | Luas permukaan |      | Persen <i>removal</i> |         |
|-----------------|----------------|------|-----------------------|---------|
|                 | In             | Mm   | BOD (%)               | TSS (%) |
| Fixed parabolic | 0,0625         | 1,6  | 5 – 20                | 5 – 30  |
| Rotary drum     | 0,01           | 0,25 | 25 - 50               | 25 - 45 |

**Tabel 2.4** Klasifikasi Fine Screen

| Jenis <i>Screen</i> | Permukaan <i>Screen</i> |              |          | Bahan <i>Screen</i>                                        | Penggunaan           |
|---------------------|-------------------------|--------------|----------|------------------------------------------------------------|----------------------|
|                     | Klasifikasi<br>Ukuran   | Range Ukuran |          |                                                            |                      |
|                     |                         | In           | Mm       |                                                            |                      |
| Miring<br>(Diam)    | Sedang                  | 0,01-<br>0,1 | 0,25-2,5 | Ayakan<br>kawat yang<br>terbuatdari<br>stainless-<br>steel | Pengolahan<br>Primer |

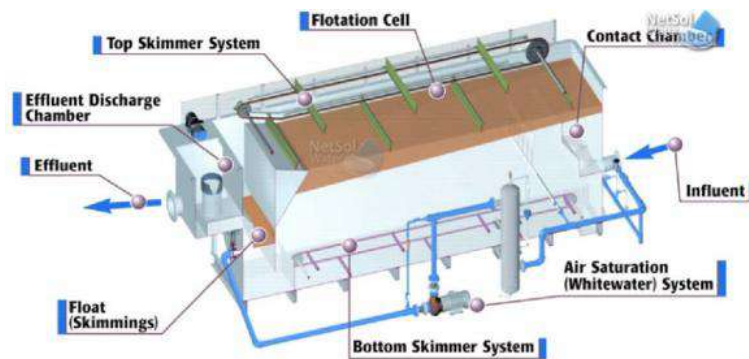
| Jenis <i>Screen</i>         | Permukaan <i>Screen</i> |              |             | Bahan <i>Screen</i>                                            | Penggunaan                                                   |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|-------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                             | Klasifikasi<br>Ukuran   | Range Ukuran |             |                                                                |                                                              |
|                             |                         | In           | Mm          |                                                                |                                                              |
| Drum<br>(berputar)          | Kasar                   | 0,1 –<br>0,2 | 2,5 - 5     | Ayakan<br>kawat yang<br>terbuatdari<br>stainless-<br>steel.    | Pengolahan<br>Pendahulua<br>n                                |
|                             | Sedang                  | 0,01-<br>0,1 | 0,25-2,5    | Ayakan<br>kawat yang<br>terbuat dari<br>stainless-<br>steel.   | Pengolahan<br>Primer                                         |
|                             | Halus                   | 0,01-<br>0,1 | 6 -<br>35µm | Stainless<br>steel dan<br>kain<br>polyester                    | Meremoval<br>residual dari<br>suspended<br>solid<br>sekunder |
| Horizontal<br>Reciprocating | Sedang                  | 0,06<br>0,17 | 1,6-4       | Batangan<br><i>Stainless<br/>steel</i>                         | Gabungan<br>dengan<br>saluran air<br>hujan                   |
| Tangensial                  | Halus                   | 0,0475       | 1200µm      | Jala-jala<br>yang terbuat<br>dari <i>Stainless<br/>steel</i> . | Gabungan<br>dengan<br>saluran<br>pembawa                     |

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 322-323)

c) *Dissolved Air flotation*

DAF adalah proses penyisihan minyak dan lemak yang melibatkan proses pemecahan emulsi di dalamnya. Dalam prosesnya, emulsi pada minyak dan lemak pada limbah dapat dipecahkan menggunakan berbagai cara, diantaranya proses pemanasan, destilasi, pelepasan gelembung udara, pembubuhan senyawa kimia, sentrifugasi, hingga filtrasi. Diantara proses tersebut, proses ultrafiltrasi merupakan proses yang paling efektif dalam memisahkan minyak dan asam lemak dari limbah industri yang diolah. Pada sistem (DAF), udara dilarutkan didalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer. Akibat terjadinya perubahan tekanan maka udara yang terlarut akan lepas kembali dalam bentuk gelembung yang halus (30 – 120 mikron).

Ukuran gelembung udara sangat menentukan dalam proses flotasi, makin besar ukuran gelembung udara, kecepatan naiknya juga makin besar, sehingga kontak antara gelembung udara dengan partikel tidak berjalan dengan baik. Dengan demikian proses flotasi menjadi tidak efektif.



**Gambar 2.3** *Dissolved Air flotation*

Umumnya, DAF dikombinasikan dengan proses koagulasi-flokulasi untuk meningkatkan efisiensi penghilangan padatan halus dan koloid. Namun, dalam beberapa kasus, DAF dapat beroperasi tanpa proses koagulasi-flokulasi, terutama jika fokus utama adalah menghilangkan minyak dan lemak (FOG - *fats, oil, and grease*) yang bersifat hidrofobik dan mudah mengapung. (Cinar et al., 2004)

Flotasi adalah proses unit operasi yang digunakan untuk mengisolasi partikel padat atau cair dari dalam fase cair. Prinsipnya melibatkan penyuntikan gelembung gas halus, seperti udara, ke dalam fase cair. Gelembung-gelembung tersebut melekat pada partikel, dan daya apung yang dihasilkan oleh kombinasi partikel dan gelembung gas cukup kuat untuk mengangkat partikel ke permukaan. Oleh karena itu, partikel dengan densitas yang lebih tinggi daripada cairan akan terangkat ke atas.

Proses flotasi udara terlarut, atau *Dissolved Air flotation* (DAF), adalah sebuah metode pengolahan air yang terbukti efektif dalam memisahkan partikel tak terlarut dari dalam air. Prinsip utamanya adalah menggabungkan udara dengan air di bawah tekanan tinggi, sehingga udara terlarut dalam air dan membentuk gelembung-gelembung udara sangat kecil, biasanya berukuran antara 10 mm hingga 100 mm. Pada tahap selanjutnya, padatan tersuspensi akan dipisahkan dengan bantuan sistem mekanik (Andrian et al., 2020).

Dalam sistem DAF, udara didistribusikan ke dalam air limbah di bawah tekanan beberapa atmosfer, lalu tekanan dilepaskan hingga mencapai tekanan atmosfer. Pada tekanan rendah, seluruh aliran air dapat diberi tekanan melalui pompa hingga sekitar 275 hingga 350 kPa dengan penambahan udara terkompresi melalui pompa penghisap. Selanjutnya, dalam tangki retensi di bawah tekanan selama beberapa menit, udara terlarut dalam air. Kemudian, campuran air dan udara ini masuk ke dalam tangki flotasi, di mana udara terlepas dalam bentuk gelembung yang sangat halus (Metcalf & Eddy, 2004).

Flotasi merupakan unit pemisah pada fase cair atau fasa padat dari fasa cair. Pemisahan partikel dari cairan flotasi didasarkan pada perbedaan berat jenis partikel dengan bantuan gelembung udara. Proses flotasi dibagi menjadi 3 jenis antara lain:

- *Air flotation*

Udara-udara akan masuk ke dalam fluida dengan menggunakan mekanisme rotor-disperser. Rotor yang terendam dalam fluida akan

mendorong udara menuju bukan disperser sehingga udara bercampur dengan air sehingga partikel yang mengapung disisihkan. Sistem ini memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan area yang luas dan lebih efektif dalam menyisihkan partikel minyak.

- *Dissolved Air flotation* (DAF)

Melakukan pengapungan dengan melarutkan udara ke dalam fluida dengan tekanan yang tinggi kemudian dilepaskan dalam tekanan atmosfer. Penggabungan dari gelembung-gelembung gas halus dengan suspended solid atau oil mengakibatkan penurunan gravitasi sehingga menambah daya pengapungan.

- *Vacuum Flotation*

Limbah cair diaerasi hingga jenuh sehingga akan terbentuk gelembung udara yang akan lolos ke atmosfer dengan mengangkat partikel-partikel ke atas.

DAF tanpa koagulasi-flokulasi dapat digunakan pada industri tekstil, namun terbatas hanya untuk penghilangan minyak lemak, bukan untuk zat warna dan COD terlarut. Oleh karena itu, penggunaannya ideal untuk pra-pengolahan (pretreatment) sebelum proses lanjutan seperti koagulasi-flokulasi atau pengolahan sekunder. (Ahn et al. 2002)

#### **d) Bak Penampung**

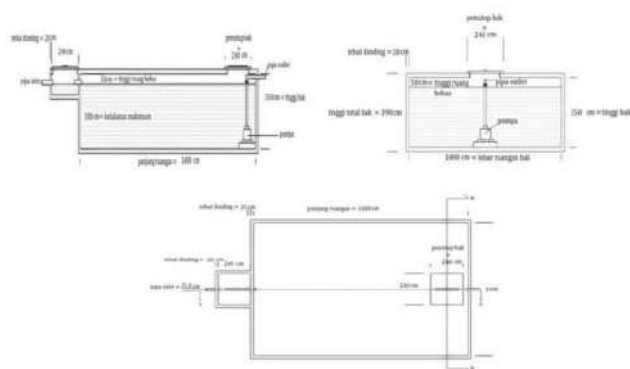
Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Menurut (Metcalf & Eddy et al., 2007), Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

- I. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan;
- II. Kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- III. Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolik yang lebih rendah (efisiensi penggunaan);
- IV. Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

- I. Memerlukan area/lokasi yang cukup luas;
- II. Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal;
- III. Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat



**Gambar 2.4** Unit Bak Penampung dan Potongan Bak Penampung  
(Sumber : Effendi, 2003)

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

- I. Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- II. Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung menurut (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018) antara lain sebagai berikut:

**Tabel 2.5** Kriteria Perencanaan

| No | Parameter                     | Simbol       | Nilai      | Satuan            | Sumber                        |
|----|-------------------------------|--------------|------------|-------------------|-------------------------------|
| 1  | Kedalaman air minimal         | $h_{\min}$   | 1,5-2      | m                 | (Metcalf & Eddy et al., 2007) |
| 2  | Ambang batas ( Free Board)    | $h_{fb}$     | 5-30       | %                 |                               |
| 3  | Laju pemompaan udara (aerasi) | Quadra       | 0,01-0,015 | $m^3 / m^3$ menit |                               |
| 4  | Kemiringan dasar tangki       | <i>Slope</i> | 40-100     | mm.m diameter     | (Qasim & Zhu, 2017)           |

| No | Parameter     | Simbol | Nilai | Satuan | Sumber                        |
|----|---------------|--------|-------|--------|-------------------------------|
| 5  | Waktu Tinggal | Td     | 1-2   | jam    | (Metcalf & Eddy et al., 2007) |

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

**Tabel 2.6** Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

| Klasifikasi Utama          | Tipe Pompa        | Kegunaan Pompa                                                                 |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Kinetik                    | <i>Centrifgal</i> | Air limbah seblum diolah, Penggunaan lumpur kedua, Pembuangan effluent         |
|                            | <i>Peripheral</i> | Limbah logam, pasir, air                                                       |
|                            | <i>Rotor</i>      | Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan |
| <i>Posite Displacement</i> | <i>Screw</i>      | Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua, Air limbah                         |

| Klasifikasi Utama | Tipe Pompa          | Kegunaan Pompa                                                                                |
|-------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   |                     | pertama, Lumpur Kasar                                                                         |
|                   | Diafragma Penghisap | Permasalahan zat kimia limbah logam, Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia) |

(Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes, Halaman 6-43)

### 2.3.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Tujuan dari pengolahan primer adalah untuk menghilangkan partikel-partikel padat organik dan anorganik melalui proses fisika, yaitu sedimentasi atau flotasi. Partikel padat organik akan dibuat mengendap (*sludge*) sedangkan minyak dan lemak akan berada di atas permukaan (*grease*). Instalasi pada tahap pengolahan primer diantaranya adalah sedimentasi primer dan flotasi.

#### a) Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5-9. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO<sub>2</sub> dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

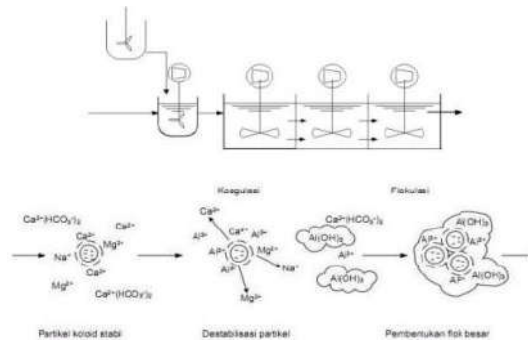
- I. Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
- II. Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- III. Penambahan  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , atau  $\text{NH}_4\text{OH}$  ke limbah asam
- IV. Penambahan asam kuat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ) ke dalam limbah basa
- V. Pembangkitan  $\text{CO}_2$  dalam limbah basa

Pada limbah cair kawasan industri menghasilkan pH basa sebesar 10. Alternatif pengolahan dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Netralisasi. Oleh karena itu perlu penambahan asam untuk penetralan pH. Pada pengolahan untuk penetralan pH menggunakan larutan asam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### **b) 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 (disebut 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  $\text{Al}^{3+}$ ) dengan ion negatif dari partikel (misal  $\text{OH}^-$ ) dan antara ion positif dari partikel (misal  $\text{Ca}^{2+}$ ) dengan ion negatif dari koagulan (misal  $\text{SO}_4^{2-}$ ) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).

Segera inti flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Proses koagulasi-flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.5** Proses Koagulasi Flokulasi

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan *Jar Test* apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).



**Gambar 2.6** Peralatan *Jar Test*

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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. Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).

Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Sedangkan berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan.

Selanjutnya ada 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<sup>-1</sup>) 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 (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- i. Untuk proses koagulasi-flokulasi:

Waktu detensi = 20-60 detik

$$G = 700-1000/s$$

- ii. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

Waktu detensi = 20-60 detik

$$G = 700-1000/s$$

- iii. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain): 34

Waktu detensi = 0,5-6 menit

$$G = 700-1000/s$$

Selanjutnya ada Pengadukan Lambat. Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik<sup>-1</sup>)

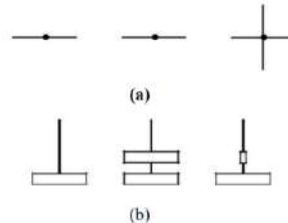
selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- i. Untuk air Sungai  
G = 10 - 50 detik
- ii. Untuk air waduk  
Waktu = 30 menit  
G = 10–7 - 5 detik
- iii. Untuk air keruh  
Waktu dan G lebih rendah
- iv. Bila menggunakan gram besi sebagai koagulan  
G tidak lebih dari 50 detik-1
- v. Untuk flokulator 3 kompartemen  
G kompartemen 1 : nilai terbesar  
G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1  
G kompartemen 3: nilai terkecil
- vi. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur dan soda)  
Waktu detensi = minimum 30 menit  
G = 10 - 50 detik-1
- vii. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)  
Waktu detensi = 15 - 30 menit  
G = 20 - 75 detik-1  
GTd = 10.000 - 100.000

Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

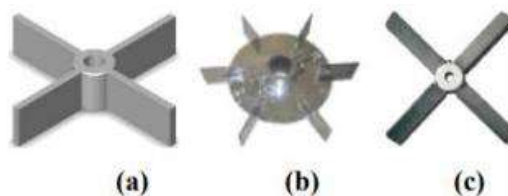
- i. Pengadukan mekanis
- ii. Pengadukan hidrolis

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



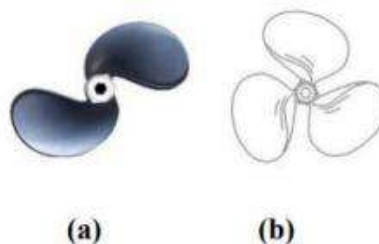
**Gambar 2.7** Tipe *Paddle* Tampak Atas dan Tampak Samping

(Sumber : Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant: Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)



**Gambar 2.8** Tipe-tipe *Turbine*

(Sumber: Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant: Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

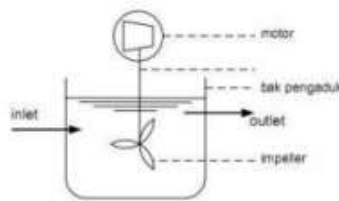


**Gambar 2.9** Tipe *Propeller*

(Sumber: Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant: Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

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

yaitu  $G$  dan  $t_d$ . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan  $G$  di kompartemen I lebih besar daripada  $G$  di kompartemen II dan  $G$  di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *Paddle* yang dimodifikasi 37 hingga membentuk roda (*Paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertical



**Gambar 2.10** Pengadukan Cepat Dengan Alat Pengaduk

(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

**Tabel 2.7** Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

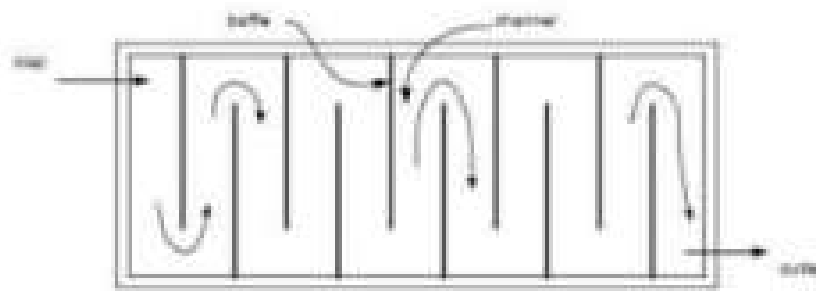
| Waktu Pengadukan $t_d$<br>(detik) | Gradien Kecepatan (1/detik) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20                                | 1000                        |
| 30                                | 900                         |
| 40                                | 790                         |
| 50>                               | 700                         |

(Sumber: Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. (1996). Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition). Boston: PWS Publishing Company.)

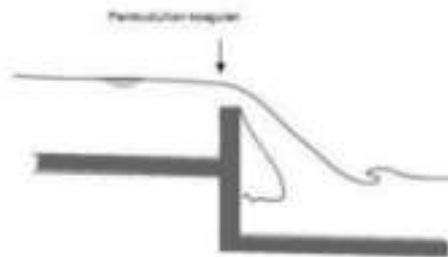
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu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

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

Jenis pengadukan hidrolik 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 hidrolik untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*Baffled channel*), *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)



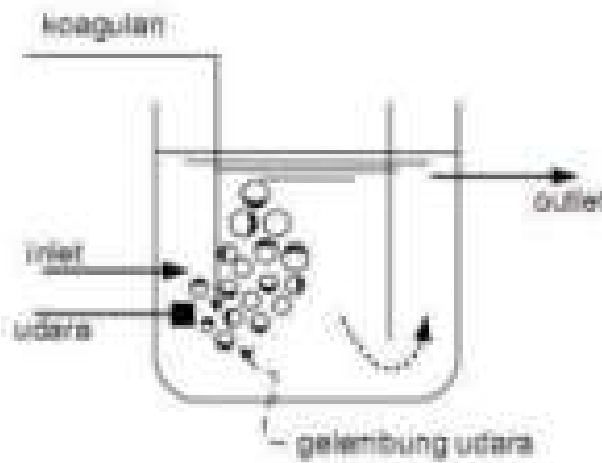
**Gambar 2.11** Pengadukan Lambat Dengan *Baffle*



**Gambar 2.12** *Baffle Channel*

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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 2.13** Pengadukan cepat secara Pnuamatis

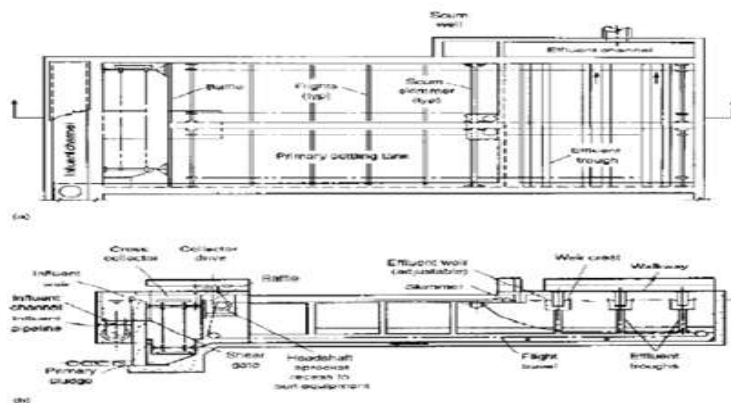
(Sumber: Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu

### a. Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dari cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

- Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan disinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa *Dosing Pump*, soda, NaCl, dan chlorine.
- Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.



### Gambar 2.14 Bak Sedimentasi

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

1. Pengendapan Tipe I (*Free Settling*).
2. Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*).
3. Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*).
4. Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*).

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona, yaitu:

1. Zona Inlet
2. Zona Outlet
3. Zona *Settling*
4. Zona Transisi
5. Zona *Sludge*

Pada tiap zona tersebut terjadi proses-proses sebagai berikut:

1. Zona Inlet

Pada zona inlet terjadi distribusi aliran yang menuju zona *Settling* ( $\pm 25\%$  panjang bak).

2. Zona *Settling*

Pada zona *Settling* terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya.

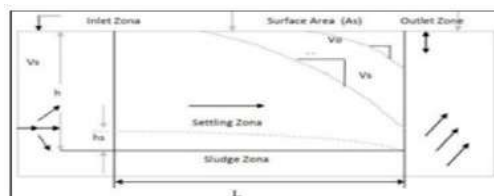
3. Zona *Sludge*

Zona *sludge* merupakan ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

4. Zona Outlet

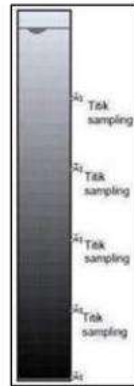
Zona outlet menghasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa. Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan *Stoke's*

karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap diuji dengan *column setting test* dengan multiple withdraw ports. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap *port* pada interval waktu tertentu, dan data *removal* partikel diplot pada grafik.



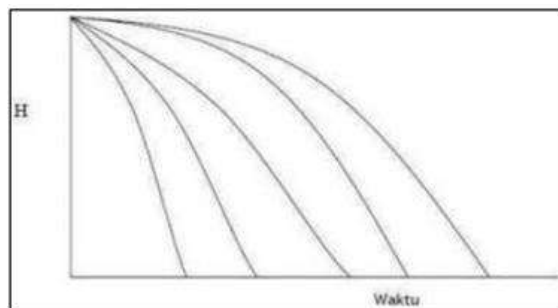
**Gambar 2.15** Zona Pada Bak Sedimentasi

Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)



**Gambar 2.16** Kolom Tes Sedimentasi Tipe II

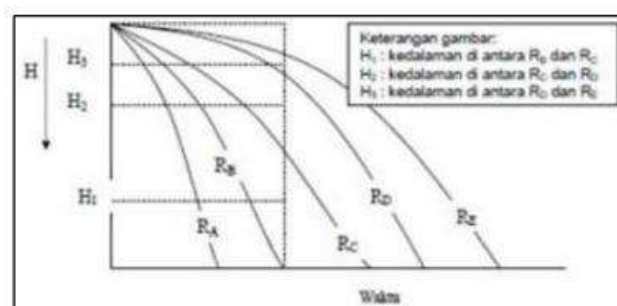
Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)



**Gambar 2.17** Grafik *Iso removal*

Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)

Grafik *isoremoval* dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ .



**Gambar 2.18** Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

Sumber: (Al Layla, Water Supply Engineering Design)

Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_T = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D)$$

Grafik *isoremoval* juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau *overflow rate* bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah:

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu. (mengulangi langkah di atas minimal dua kali)
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x)
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan *overflow rate* (sebagai sumbu x)

Kedua grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi ( $t_d$ ) dan *overflow rate* ( $V_o$ ) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara *batch*).

Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinyu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk *overflow rate*, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynold dan Richards, 1996). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

#### 1. Horizontal - *Flow Sedimentation*

Desain yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi panjang yang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang *circular* biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk *rectangular* (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk

ke zona *Settling* melalui *Baffle* (sekat) agar alirannya menjadi laminar. Di zona *Settling* partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Beberapa keuntungan horizontal-flow dibandingkan dengan *upflow* adalah:

- Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air
- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim
- Biaya konstruksi dan operasionalnya murah
- Perawatannya mudah

Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah ( $Q$ ), waktu detensi, luas permukaan, dan kecepatan pengendapan.

## 2. *Upflow Sedimentation*

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil.

Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air semakin besar (Sugiarto, 2007). Pengotoran air mengandung bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau. Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan organik, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan.

Dengan berkurangnya bahan organik terlarut akan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut sehingga nilai BOD akan menurun. Menurut Metcalf & Eddy (2004), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80% (Metcalf & Eddy et al., 2004).

Efisiensi pengendapan partikel flokulan dipengaruhi oleh *overflow rate*, *detention time* dan kedalaman bak pengendap. *Overflow rate* ditentukan oleh surface area dimana semakin besar surface area, maka kecepatan pengendapan akan semakin cepat dan efisiensi bak semakin baik. Apabila  $VO = VS = h \text{ ts}$  maka semakin besar  $h$  akan menurunkan efisiensi. Sebaliknya semakin besar waktu detensi akan meningkatkan efisiensi sedimentasi.

*Batch Settling test* digunakan untuk mengevaluasi karakteristik pengendapan suspensi flokulen. Diameter coloumn untuk tes 5–8-inch (12,7 – 20,3 cm) dengan tinggi paling tidak sama dengan kedalaman bak pengendap. Sampel dikeluarkan melalui pori pada interval waktu periodik. Prosentase penghilangan dihitung untuk masing-masing sampel yang diketahui konsentrasi suspended solidnya dan konsentrasi sampel. Prosentase penghilangan diplotkan pada grafik sebagai nilai penghilangan pada grafik waktu vs kedalaman. Lalu dibuat interpolasi antara titik-titik yang diplot dan kurva penghilangan,  $R_a$ ,  $R_b$ , dst. Dalam bangunan sedimentasi ini terdapat kriteria desain yang dapat digunakan dalam mempermudah desain.

### c) Presipitasi

Logam berat adalah logam yang menjadi perhatian khusus dalam pengolahan air limbah industri, seperti tembaga, perak, seng, kadmium, merkuri, timbal, kromium, besi, dan nikel. Sebagian besar logam berat yang ditemukan dalam proses pengolahan limbah berada dalam bentuk anorganik. Metode paling umum untuk menghilangkan logam berat anorganik adalah presipitasi kimia atau pengendapan kimia.

Logam mengendap pada berbagai tingkat pH, tergantung pada faktor-faktor seperti logam itu sendiri, garam tidak larut yang telah terbentuk (misalnya, hidroksida, karbonat, sulfida, dll.), adanya zat pengompleks seperti amonia, asam sitrat, asam etilendiamintetra asetat (EDTA), dll.

Ketika terdapat dua atau lebih logam berat ditemukan dalam aliran limbah yang sama, pH optimum untuk pengendapan mungkin berbeda untuk setiap ion. Metode yang dapat digunakan untuk mengendapkan satu atau lebih logam pada sumber pada satu pH, dan mengolah aliran yang tersisa pada pH lain, yaitu:

- Menyelidiki zat pengompleks atau chelating lainnya untuk menentukan pengaruhnya terhadap proses pengendapan.
- Menggunakan skala batch dengan menggunakan sampel limbah yang akan diolah untuk menentukan proses pengolahan yang optimal.
- Uji presipitasi harus menggunakan berbagai kemungkinan bahan kimia untuk menentukan mana yang menghasilkan efluen yang paling dapat diterima.
- pH harus disesuaikan pada kisaran yang sesuai.
- Waktu yang diperlukan untuk pencampuran dan sedimentasi yang tepat juga dapat ditentukan dengan program pengujian skala batch. Setelah diuji menggunakan skala batch, dapat diterapkan pada skala kontinyu, yakni pada instalasi pengolahan air limbah (Lanouette, 1976).

### **2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)**

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut

1. Mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima
2. Menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan *nonsetttable* menjadi flok biologis atau biofilm

3. Mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan
4. Menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis

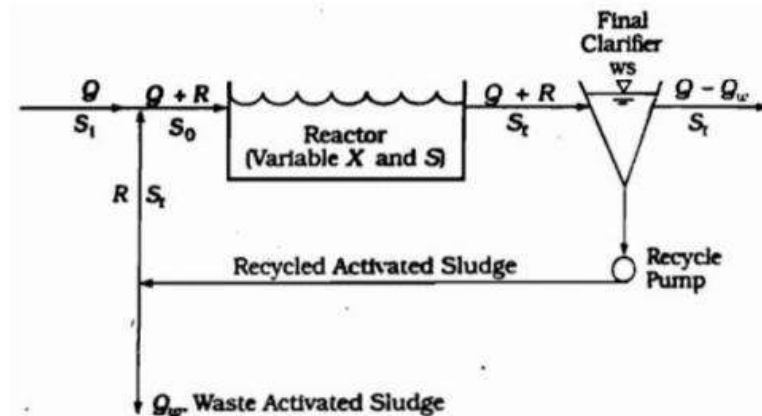
Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis.

**a) *Activated Sludge***

*Activated Sludge* (lumpur aktif) adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri aerobik dalam tangki aerasi. Energi yang digunakan bakteri berasal dari oksidasi senyawa organik dan organik karbon. Organik karbon yang digunakan adalah BOD dan COD yang kemudian disebut dengan substrat. Bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan pembentukan sel baru dan hasil lain berupa lumpur.

Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4$ . dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa *Blower (diffused)* atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Metode pengolahan lumpur aktif (*Activated Sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Untuk alur pengolahan pada *Activated Sludge* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



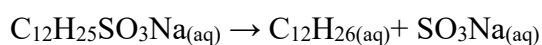
**Gambar 2.19** Proses *Activated Sludge*

Untuk mengurai MBAS dalam sistem *Activated Sludge* (AS), digunakan proses biologis yang melibatkan mikroorganisme aerobik, seperti bakteri dan protozoa, yang digunakan untuk menguraikan surfaktan anionik yang ada dalam air limbah. Surfaktan anionik ini, yang umumnya ditemukan dalam produk pembersih seperti deterjen, memiliki struktur yang terdiri dari dua bagian: rantai alkil (yang bersifat hidrofobik) dan gugus sulfonat (yang bersifat hidrofilik). Dalam sistem AS, mikroorganisme mengonsumsi surfaktan anionik sebagai sumber karbon dan energi, mengubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), melalui serangkaian langkah metabolik. Proses ini sangat bergantung pada kondisi yang mendukung mikroorganisme, seperti suhu, pH, dan ketersediaan oksigen, serta konsentrasi MBAS yang ada di dalam air limbah.

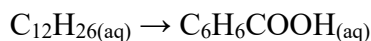
Pada dasarnya, dalam sistem *Activated Sludge*, air limbah yang mengandung MBAS (yang umumnya berupa Linear Alkylbenzene Sulfonate atau LAS) masuk ke dalam tangki aerasi, di mana aliran air diperlambat dan oksigen diberikan untuk mendukung respirasi mikroorganisme. Mikroorganisme dalam sistem AS mengonsumsi MBAS melalui serangkaian reaksi biokimia. Proses pertama adalah hidrolisis, di mana rantai alkil dalam surfaktan dipecah menjadi asam lemak dan alkohol, dua senyawa yang lebih sederhana dan dapat digunakan sebagai sumber energi oleh mikroba. Reaksi ini diikuti oleh oksidasi gugus sulfonat, yang

biasanya menghasilkan produk sampingan berupa sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Sebagai hasil akhir dari proses biodegradasi, MBAS yang mengandung senyawa berbasis karbon dan sulfonat akan diubah menjadi produk yang tidak berbahaya seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

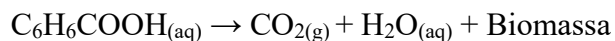
Reaksi kimia utama yang terjadi dalam proses biodegradasi MBAS oleh mikroorganisme dalam sistem AS adalah pemecahan rantai alkil dan sulfonat. Reaksi pertama adalah hidrolisis dari linear alkylbenzene sulfonate ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_3\text{Na}$ ) menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti alkohol dan sulfat:



Setelah rantai alkil terpecah menjadi alkohol, mikroorganisme melanjutkan pemecahan senyawa tersebut menjadi asam lemak:



Selanjutnya, asam lemak tersebut akan teroksidasi menjadi produk yang lebih sederhana:



Gugus sulfonat ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) yang terikat pada molekul MBAS akan dioksidasi menjadi sulfat yang lebih sederhana, yang kemudian bisa terbawa dalam air yang telah terolah atau diendapkan di tangki pengendap.

Proses penguraian ini tidak hanya terjadi di tangki aerasi, tetapi juga tergantung pada kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme, seperti suhu, pH, dan ketersediaan oksigen. Proses metabolisme mikroba sangat bergantung pada suhu optimal yang berkisar antara  $20\text{--}35^\circ\text{C}$  dan pH netral (6-8). Kondisi ini mendukung aktivitas bakteri dalam mendegradasi surfaktan anionik seperti MBAS. Selain itu, konsentrasi MBAS yang terlalu tinggi bisa menghambat laju biodegradasi karena surfaktan bisa bertindak sebagai inhibitor bagi pertumbuhan mikroba, menurunkan kemampuan mereka dalam mengurai senyawa tersebut.

Mikroorganisme dalam sistem *Activated Sludge* memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan keberadaan senyawa seperti MBAS

setelah melalui periode aklimatisasi. Bakteri-bakteri tersebut seperti jenis *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, dan *Mycobacterium*. Bakteri yang lebih tahan terhadap surfaktan akan lebih efisien dalam menguraikan MBAS dalam sistem jangka panjang. Oleh karena itu, pemeliharaan keseimbangan mikroorganisme dalam sistem adalah penting untuk keberhasilan proses pengolahan.

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *Activated Sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun jenis-jenis proses di dalam *Activated Sludge*, yaitu:

- i. Konvensional  
Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, secondary *Clarifier* dan recycle *sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.
- ii. Tapered Aerasi  
Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.
- iii. Contact Stabilisasi  
Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu *Contact Tank* yang berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik untuk memproses lumpur aktif. Tangki lainnya adalah *Reaeration Tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengasorpsi (proses stabilisasi).
- iv. Pure Oxygen

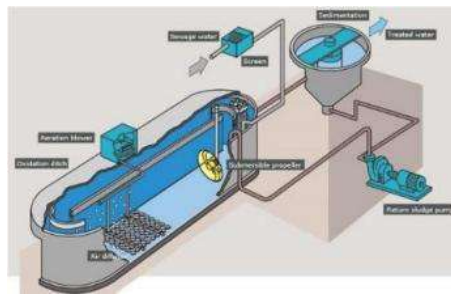
Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan di resirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan waktu tinggal pendek.

v. High-Rate Aeration

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

vi. Oxidation Ditch

Bentuk oxidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.20** Sketsa Oxidation Ditch

(Sumber: <https://www.jfeeng.co.jp/en/products/aqua/aqua13.html>)

vii. Step Aeration System

Merupakan type *plug flow* dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju Outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3-4 titik ditangki 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.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut:

i. Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran

oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen.

ii. 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 bakterisehingga 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 fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2003). - 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 (Perry.R.H. & Green.D., 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun 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.

iii. 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 di atasi dengan larutan  $H_2SO_4$  atau  $Ca(OH)_2$  maupun larutan kapur.

iv. Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, 1931). Adapun parameter penting untuk desain *Activated Sludge* adalah:

- F/Mratio, merupakan perbandingan antara substrat (food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat(BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *Activated Sludge* yang digunakan.
- Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi ( $C_0$ ).
- Waktu detensi (td) adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
- Volume bak aerasi (V).

b) *Clarifier*

Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *Clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif.

Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk

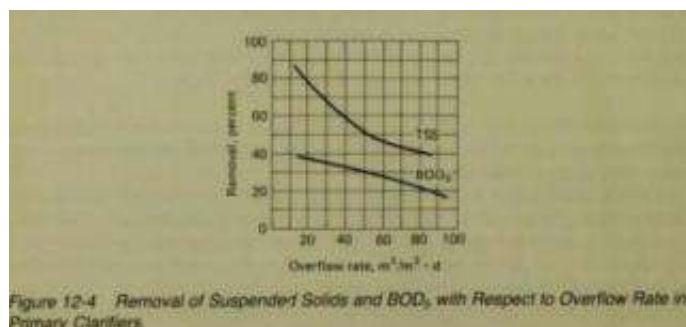
lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah *Clarifier*. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman *Clarifier* rata-rata 10-15 feet (3-4,6 meter). *Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter). Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit *Clarifier*:

### **Zona Pengendapan (*Settling Zone*)**

#### **I. Over Flow Rate**

- Average = 30-50 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> .hari
- Peak = 70-130 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> .hari



(Sumber: Tabel 12.1 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

#### **II. Waktu Tinggal (Td) = 0,6 - 3,6 jam**

#### **III. Dimensi**

(*Rectangular*)

Panjang (L) = 10-100 m

Lebar (W) = 3-24 m

Kedalaman (H) = 2,5-5 m

P : L = 1-7,5 : 1

P : H = 4,2-25 : 1

(Circular)

Diameter (D) = 3-60 m

Kedalaman (H) = 3-6 m

(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)

IV. Flight Speed = 0,02-0,05 m/menit

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 398)

V. %Removal TSS = 50%-70%

(Sumber: (Huisman, 1977) *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration*. Delft University of Technology. Halaman 12)

VI. Weir Loading Rate = 125-500 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> .hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)

VII. Diameter Inlet Well = 15%-20% Diameter Bak

VIII. Ketinggian Inlet Well = 0,5-0,7 m

IX. Kecepatan Inlet Well = 0,3-0,75 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4 th Edition, halaman 401)

X. Bilangan Reynold (NRe) untuk Vs = <1 (Aliran Laminar)

XI. Bilangan Reynold (NRe) untuk Vh = <2000 (Aliran Laminar)

XII. Bilangan Freud (NFr) = >10<sup>-5</sup> (Mencegah Aliran Pendek)

(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

XIII. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)

XIV. Slope ke arah Zona Sludge

- *Rectangular* = 1%-2%
- *Circular* = 40-100 m/m

(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)

Konsentrasi Solid = 4%-12%

- XV. Cek NRe Partikel  $< 0,5$
- XVI. Syarat terjadinya pengendapan ( $T_p < T_d$ )
- XVII. Syarat terjadinya penggerusan ( $V_{sc} > V_h$ )
- XVIII. Suhu air buangan  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sehingga :
  - Kinematic *Viscosity* ( $\nu$ ) =  $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Absolute *Viscosity* ( $\mu$ ) =  $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
  - Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99681 \text{ g/cm}^3$   
=  $996,81 \text{ kg/m}^3$

(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)

- XIX. Koef. Manning ( $n$ ) = 0,012-0,016  
(Sumber: (Indonesia, 2017) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

- XX. Kontrol penggerusan
  - Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,05
  - Faktor fraksi hidrolis ( $\lambda$ ) = 0,03

(Sumber: (Huisman, 1977) *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration*. Delft University of Technology. Halaman 57)

#### **Zona Lumpur (*Sludge Zone*)**

- I. Volatile Solid = 60%-90%
- II. Dry Solid = 3%-8%

(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants :  
Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston.  
Halaman 428)

III. Specific Gravity Suspended Solid = 1,3-1,5

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering:  
Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering  
(Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)

IV. Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0,99681 gr/cm<sup>3</sup>  
= 996,81 kg/m<sup>3</sup>

(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit  
Operations and Processes in Environmental Engineering,  
Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 762)

#### **2.3.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)**

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. 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 59 keperluan kehidupan. *Sludge* dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007):

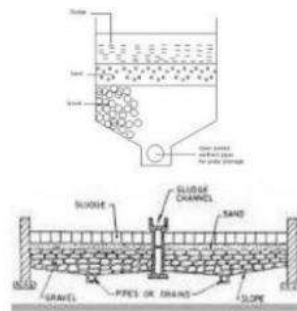
- *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
- Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

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*. *Sludge Drying Bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 5 hari dengan bantuan sinar matahari.

**a) *Sludge Drying Bed***

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *Sludge Drying Bed* (Metcalf & Eddy et al., 2007).



**Gambar 2.21 *Sludge Drying Bed***

**(Sumber: Metcalf and Eddy, 2004)**

Pipa inlet pada bangunan *Sludge Drying Bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan

jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *Sludge Drying Bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering. Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

- i. Waktu Pengeringan = 5-15 Hari
- ii. Tebal *Sludge* Cake = 20-30 cm
- iii. Tebal Pasir = 23-30 cm
- iv. Lebar (W) = 6 m
- v. Panjang (L) = 6-30 m
- vi. *Slope* = 1%
- vii. Kecepatan Aliran = >0,75 m/s
- viii. Berat Air dalam Cake (Pi) = 60%-70%
- ix. Kadar Air (P) = 60%-80%
- x. Kadar Solid = 20%-40%
- xi. *Sludge* Loading Rate = 120-150 kg/solid kering/m<sup>2</sup> .tahun

(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572)

- xii. W: L = 1: 4

(Sumber: SNI 7510 – 2011)

#### **b) 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. Dibeberapa 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), beltfilter press, conveyor cake lumpur, dan sistem pendukung (compressor, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur (Metcalf & Eddy, 2003).

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. Beltfilter 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 operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur (Metcalf & Eddy, 2003).

## **2.4 Persen Removal**

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

**Tabel 2.8** Persen *Removal* Unit Pengolahan Air Limbah

| Unit Pengolahan                       | Parameter Pencemar | % Removal | Sumber                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DAF                                   | TSS                | 65-80%    | Syed R. Qasim. 1999. <i>WWTP Planning, Design, and Operation</i> , hal. 159                                                                                                      |
|                                       | BOD                | 25-98%    |                                                                                                                                                                                  |
|                                       | Minyak & Lemak     | 65-98%    |                                                                                                                                                                                  |
| Presipitasi                           | Tembaga (Cu)       | 90%       | Lanouette, K. H. (1976). & Said, N. I. (2017). <i>Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi</i> . Hal. 160                                                              |
| Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi | TSS                | 80-90%    | Tchobanoglous, G. & Burton, F. L., & Stensel, H. D.. <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition</i> , hal. 497                                                   |
|                                       | BOD                | 50-80%    |                                                                                                                                                                                  |
| <i>Activated Sludge</i>               | TSS                | 60-85%    | Cavaseno, V. (1987). <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i> . hal. 15                                                                                          |
|                                       | BOD                | 80-99%    |                                                                                                                                                                                  |
|                                       | COD                | 50-95%    |                                                                                                                                                                                  |
|                                       | Phenol             | 95-99%    |                                                                                                                                                                                  |
|                                       | MBAS               | 80-87%    | Tchobanoglous, G. & Burton, F. L., & Stensel, H. D., (Eds.). (2014). <i>Wastewater EGINEERING: Treatment and Resource Recovery. 5<sup>th</sup> Edition</i> McGraw-Hill. hal. 282 |
| <i>Clarifier</i> (Sedimentasi 2)      | TSS                | 60-80%    | Huisman, L. (1977). <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration</i> . Page 12                                                                                           |
|                                       | BOD                | 30-50%    |                                                                                                                                                                                  |

## 2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hydraulic 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:
  - Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
  - Kehilangan tekanan pada bak
  - Kehilangan tekanan pada pintu
  - Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung 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 Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William”  $Q$  atau  $V$  diketahui maka  $S$  didapat dari monogram.
  - Kehilangan tekanan pada aksesoris Cara yang mudah adalah dengan mengekuivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekuivalen sekaligus  $S$ .
  - Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok 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:

- Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- Menambahkan kehilangan tekanan antara bangunan kedua dengan 60 bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua
- Didapat tinggi muka air bangunan sebelum bangunan kedua demikian seterusnya hingga bangunan terakhir