

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

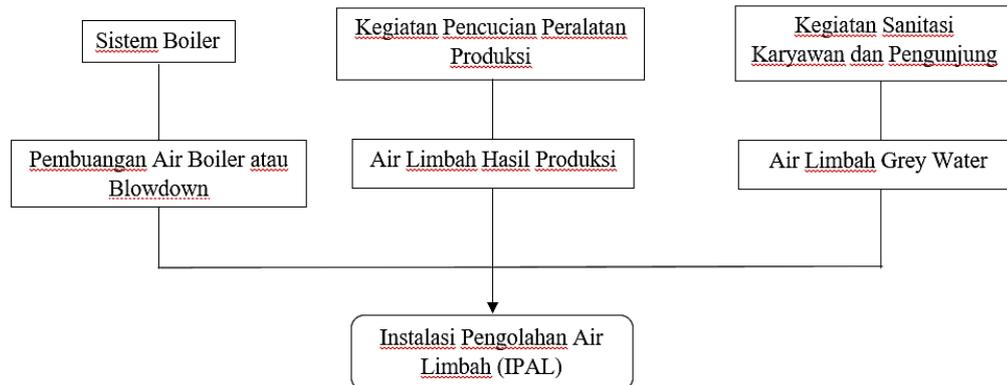
#### **2.1 Industri Pengolahan Gula Bukan Sirop (Industri Selai dan Pewarna Kue)**

Industri pengolahan gula bukan sirop, khususnya industri selai dan pewarna kue, merupakan salah satu sektor yang memainkan peran penting dalam perkembangan industri pangan di Indonesia. Produk-produk dari industri ini sangat beragam, mencakup selai, jeli, dan berbagai pewarna makanan yang digunakan dalam pembuatan kue dan produk olahan lainnya. Industri ini memiliki nilai strategis karena memberikan kontribusi terhadap perekonomian nasional, terutama dalam mendukung industri pangan dan minuman. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), permintaan terhadap produk olahan gula seperti selai dan pewarna kue terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri makanan dan perubahan gaya hidup masyarakat yang semakin menyukai produk olahan yang praktis dan bernilai tambah (Badan Pusat Statistik (BPS), 2023).

Salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan industri selai dan pewarna kue adalah ketersediaan bahan baku, yaitu gula dan buah-buahan. Pemanfaatan buah lokal sebagai bahan baku selai dapat meningkatkan nilai tambah produk serta mendukung industri berbasis agrikultur. Selain itu, adanya regulasi mengenai penggunaan pewarna makanan yang aman dan bahan aditif lainnya turut memengaruhi standar produksi dalam industri ini. Regulasi ini penting untuk menjaga keamanan konsumen dan kualitas produk yang dihasilkan, sehingga industri dapat memenuhi standar nasional maupun internasional. (Hariyadi et al., 2014)

Skema air limbah yang dihasilkan dari produksi selai dan pewarna kue dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut. Dari Gambar 2.1, dapat diketahui bahwa limbah yang dihasilkan selama proses ini meliputi limbah cair dan limbah padat. Limbah cair terutama berasal dari sanitasi karyawan, pencucian peralatan, dan blowdown boiler. Limbah padat umumnya terbentuk dari sisa bahan baku yang tidak terpakai atau residu dari proses penyaringan. Pengelolaan limbah yang efektif diperlukan

untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan, misalnya melalui sistem pengolahan air limbah.



**Gambar 2.1** Alur Sumber Air Limbah dari Industri Selai dan Pewarna Kue

Sumber: Dokumen Persetujuan Teknis, 2024

Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan utama Industri Selai dan Pewarna Kue adalah air limbah domestik dan air limbah industri yang bersumber dari:

1. Sanitasi Karyawan dan Pengunjung
2. Kegiatan Pencucian Peralatan Produksi
3. Blowdown Boiler

Proses kegiatan yang digunakan membutuhkan bantuan dari boiler. Kegunaan boiler pada kegiatan operasional adalah untuk memasak bahan mentah sebelum diproses sebagai barang jadinya. Proses boiler dalam mengubah air menjadi uap bisa terjadi berkat cara-cara yang dibantu oleh alat atau mesin penunjang yang benar. Adapun alur proses boiler dijelaskan sebagai berikut:

- Pertama, proses perubahan air menjadi uap itu bisa terjadi karena adanya air yang dipanaskan di dalam pipa. Tentunya dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan pembakaran bahan bakar.
- Selain itu, pembakaran juga dilakukan secara terus menerus dengan cara mengalirkan bahan bakar sekaligus udara dari luar.
- Kemudian, uap yang nantinya dihasilkan oleh boiler akan digunakan untuk memasak bahan baku produksi.
- Selanjutnya blowdown boiler akan dialirkan ke IPAL untuk diolah bersama dengan limbah industri dan domestik.

## **2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Selai dan Pewarna Kue**

Setiap industri memiliki karakteristik limbah cair yang berbeda-beda, bergantung pada proses produksi yang dijalankan. Industri selai dan pewarna kue termasuk dalam kategori industri yang belum memiliki standar spesifik untuk karakteristik limbahnya. Oleh karena itu, industri ini mengikuti ketentuan yang berlaku untuk usaha atau kegiatan yang belum ditetapkan baku mutu air limbahnya, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Menurut peraturan tersebut, ada lima parameter utama yang harus diperhatikan dalam pengelolaan limbah cair dari industri pengolahan gula bukan sirup yaitu selai dan pewarna kue. Kelima parameter tersebut adalah *Total Dissolved Solid* (TDS), *Total Suspended Solid* (TSS), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan Total Coliform. Setiap parameter tersebut memiliki peran penting dalam menilai kualitas dan potensi dampak limbah cair terhadap lingkungan, sehingga perlu diolah agar memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. Adapun penjelasan terkait dengan kelima karakteristik air limbah industri selai dan pewarna kue adalah sebagai berikut:

### **2.2.1 Total Dissolved Solid (TDS)**

Total padatan terlarut (TDS) adalah jumlah mineral dan kotoran yang berasal dari garam yang larut dalam air dan dapat diukur. Padatan organik berukuran kecil (mikromolekul) juga termasuk dalam TDS, sedangkan senyawa seperti gula, alkohol, pestisida, dan padatan organik besar (makromolekul) tidak dihitung karena dapat memengaruhi rasa air. TDS digunakan sebagai indikator keberadaan kontaminan kimia serta untuk memantau pergerakan air di bawah tanah atau membangun model aliran sungai.

TDS dihitung berdasarkan jumlah material terlarut yang dapat melewati saringan berukuran lebih kecil dari 2  $\mu\text{m}$ , dengan satuan pengukuran Parts per Million (ppm), yang menunjukkan perbandingan rasio berat ion terhadap air. Kandungan TDS dalam air dapat memengaruhi rasa, misalnya menjadikan air terasa asin. Jika air dengan TDS tinggi diminum, akumulasi garam dalam ginjal dapat terjadi, yang lama-kelamaan dapat mengganggu fungsi fisiologis ginjal. Perubahan

konsentrasi TDS berpotensi membahayakan karena dapat menyebabkan perubahan salinitas, komposisi ion, serta toksisitas setiap ion. Perubahan salinitas dapat mengganggu keseimbangan ekosistem air, mengurangi biodiversitas, menekan keberadaan spesies yang tidak tahan terhadap perubahan, dan meningkatkan toksisitas pada tahap-tahap kehidupan organisme akuatik (Weber-Scannell, 2007).

TDS di dalam air berasal dari berbagai sumber organik seperti lumpur, plankton, limbah industri, dan kotoran. Sumber lainnya bisa berupa limbah rumah tangga, pestisida, serta sumber anorganik seperti batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi, fosfor, sulfur, dan mineral lainnya. Semua zat ini berbentuk garam yang merupakan kombinasi antara unsur logam dan non-logam, dan biasanya terlarut dalam air dalam bentuk ion yang bermuatan positif atau negatif (Weber-Scannell, 2007).

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

Total padatan ada berbagai macam antara lain padatan terendap, padatan tersuspensi dan padatan terlarut. Padatan terendap adalah padatan dalam limbah cair yang mengendap pada dasar dalam waktu 1 jam. Padatan ini biasanya diukur pada kerucut imhoff berskala dan dilaporkan sebagai ml padatan terendap per liter. Padatan terendap merupakan indikator jumlah padatan limbah yang akan mengendap pada alat penjernih dan kolam pengendapan. *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan sebagian dari *Total Solids* yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman fiber glass* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm. (Eddy, 2003)

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 lain-lainnya.

Semua elemen- elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

Zat terlarut (*dissolved substances*) yakni semua senyawa yang larut dalam air, dengan ukuran kurang dari beberapa nanometer. Senyawa- senyawa ini umumnya berupa ion positif atau ion negatif. Selain itu juga termasuk gas-gas yang terlarut misalnya oksigen, karbon dioksida, *hydrogen sulfide*, dan lain-lain (Said, 2017).

*Total Suspended Solid* dalam air buangan industri selai dan pewarna kue ini adalah 280 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L.

### **2.2.3 Biological Oxygen Demand (BOD)**

*Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (*biological oxidation*) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik (Eddy, 2003).

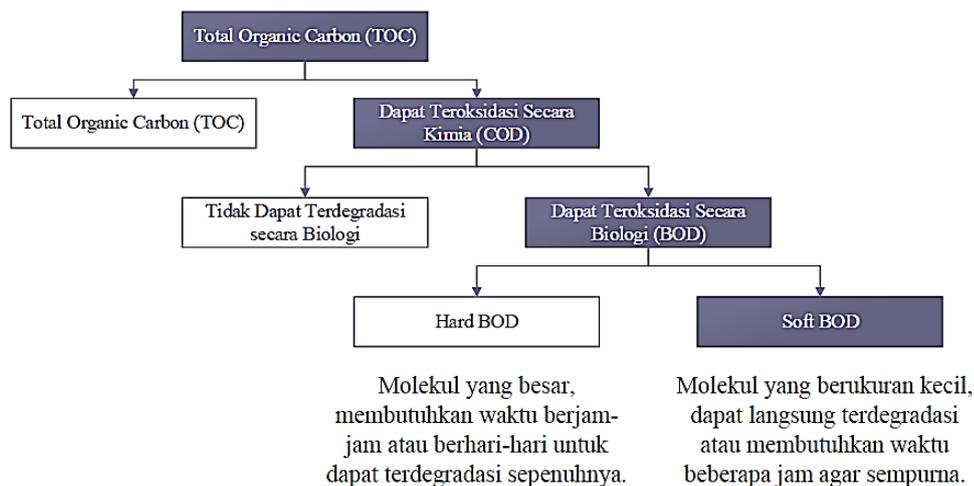
Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis. Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD<sub>5</sub>. Menurut Brake (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD. Menurut Brake (1998), diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada air limbah domestik dengan temperatur 20°C, materi organik dapat terurai seluruhnya (100% BOD) pada waktu setelah 20 hari (Brake, 1998). Namun, dalam kondisi tertentu, air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, amonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. Oleh karena itu, BOD<sub>5</sub> dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik di dalam air limbah domestik. BOD<sub>5</sub> juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh U.S.

*Environmental Protection Agency* (EPA) dalam pemantauan kualitas air limbah domestik (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

*Biological Oxygen Demand* (BOD) dalam air buangan industri selai dan pewarna kue ini adalah 950 mg/L, sedangkan baku mutu kandungan BOD yang ditetapkan di Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 adalah sebesar 50 mg/L.

Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen.

Adapun hubungan antar karbon organik dalam air limbah domestik dijelaskan dalam gambar 2.2 (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):



**Gambar 2.2** Hubungan Antar Karbon Organik dalam Air Limbah Domestik

Sumber: (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018)

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

*Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Metcalf & Eddy, I. An A. C., Asano, T., Burton,

F., & Leverenz, 2007). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup.

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 (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/L.

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah optimal untuk pengolahan biologis adalah berkisar dari 0.1 sampai 0.8. Rasio BOD/COD optimal yang didapatkan pada proses Aerob berada pada rasio 0,1, proses Fakultatif pada rasio 0,2 dan proses Anaerob yaitu rasio 0,2. Semua rasio sebenarnya dapat dipakai tetapi apabila dilihat dari efisiensi yang paling baik adalah proses aerob dengan rasio BOD/COD awal 0,1 sehingga dikatakan rasio yang paling optimal (Putri, A. R., Samudro, G., & Handayani, 2012).

### **2.2.5 Total Coliform**

Total coliform adalah kelompok bakteri yang termasuk di dalamnya bakteri jenis aerobik dan fakultatif anaerobik, dimana merupakan bakteri gram negatif. Sebagian besar bakteri total coliform adalah heterotropik dan dapat bertambah jumlahnya di air dan tanah. Total coliform juga dapat bertahan dan bertambah banyak jumlahnya di sistem distribusi air, terutama jika kondisinya memungkinkan. Keberadaan total coliform dapat berasal dari tinja manusia atau hewan dan dapat pula berada secara alamiah di dalam air. Total coliform hanyalah sebagai indikator yang digunakan untuk mengindikasikan bahwa bisa saja terdapat mikroba lain

dalam air tersebut, misalnya mikroba patogen seperti Giardia, Cryptosporidium, E.coli, dan lain-lain (Yulianingsih, A., Djumati, I., Teknologi, J., Medis, L., & Ternate, 2019). Kandungan total coliform yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 10000 CFU/100 mL.

### **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 Rahmawati, Gita Ayu, Eka Wardhani, 2019, dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

#### **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 padatan tepung. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah. Perencanaan bangunan pengolahan air buangan pada industri selai dan pewarna kue yang termasuk pengolahan pendahuluan yaitu pada Saluran Pembawa dan *Fine Screen*: digunakan untuk menyaring benda-benda atau padatan kristal kecil dari air limbah sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

#### **2. Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)**

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan. Perencanaan bangunan pengolahan air buangan pada industri selai dan pewarna kue yang termasuk

pengolahan pertama yaitu pada Bak Ekualisasi untuk menstabilkan aliran dan konsentrasi polutan dalam air limbah sebelum proses pengolahan lebih lanjut; Koagulasi-Flokulasi bertujuan menambahkan bahan kimia untuk membantu menggumpalkan partikel halus agar dapat diendapkan; Sedimentasi bertujuan memisahkan padatan yang mengendap dari air limbah setelah proses koagulasi-flokulasi.

### 3. Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik. Perencanaan bangunan pengolahan air buangan pada industri selai dan pewarna kue yang termasuk pengolahan kedua yaitu *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*, *Activated Sludge*, *Clarifier* karena persen removal pada unit tersebut cukup besar untuk meremoval kandungan organik dengan menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik terlarut dalam air limbah

### 4. Pengolahan Ketiga (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

### 5. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Perencanaan bangunan pengolahan air buangan pada industri selai dan pewarna kue dalam pengolahan lumpur yaitu dengan menggunakan *Sludge Drying Bed*.

*Sludge* dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

- *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab 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 :
  - Mereduksi kadar lumpur.
  - Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Berdasarkan proses pengolahan, maka pengolahan air buangan di bedakan menjadi tiga, yaitu:

1) Pengolahan fisik

Bertujuan untuk menghilangkan partikel diskrit yang dapat mengendap dengan sendirinya dan zat yang terapung.

2) Pengolahan kimiawi

Bertujuan untuk menghilangkan partikel koloid baik yang berupa organik maupun anorganik serta partikel tersuspensi.

3) Pengolahan biologis

Bertujuan untuk menstabilkan air buangan dengan memanfaatkan mikroorganisme. Pengolahan biologis ini dapat dibedakan menjadi bagian antara lain, pengolahan aerobik, anaerobik, dan pengolahan fakultatif.

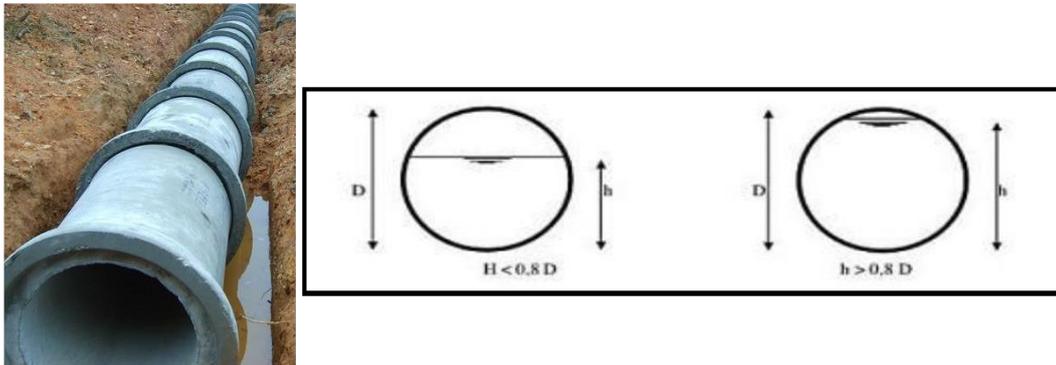
Adapun bangunan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair di industri selai dan pewarna kue, antara lain:

### **2.3.1 Saluran Pembawa dan *Fine Screen***

#### **1. Saluran Pembawa**

Saluran pembawa merupakan saluran yang digunakan untuk mengalirkan air limbah dari unit bangunan ke unit bangunan 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

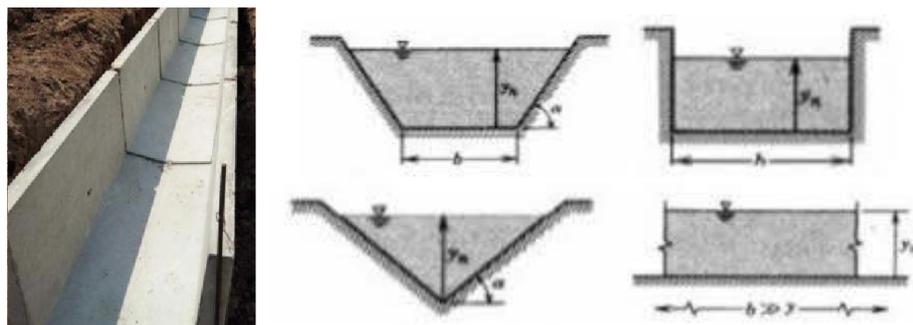
pada proses penyaluran air limbah. Saluran pembawa dibedakan menjadi saluran pembawa tertutup (*pipe flow*) dan saluran pembawa terbuka (*open channel flow*).



**Gambar 2.3** Saluran Pembawa Tertutup dan Potongan Pipa Saluran Tertutup

Sumber: (Pritchard, 2011)

Saluran pembawa tertutup (*pipe flow*) merupakan sistem saluran yang permukaan airnya tidak memiliki kontak dengan udara luar, sehingga saluran tertutup memiliki suatu tekanan hidraulik. Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka. Keuntungan pipa saluran tertutup yakni pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar dan Rendahnya rata – rata sedimen dan daun – daunan yang jatuh di saluran. Tabungnya yang dipendam (*hume*,PVC, atau FRPM), Box culvert, Pagar saluran dengan tutupnya.



**Gambar 2.4** Saluran Pembawa Terbuka dan Potongan Pipa Saluran Terbuka

Sumber: (Pritchard, 2011)

Saluran terbuka (*open channel flow*) merupakan sistem saluran yang permukaan airnya memiliki kontak dengan udara luar. Saluran terbuka memiliki beberapa macam bentuk diantaranya segi empat, trapesium, segitiga, dan setengah

lingkaran. Saluran ini biasanya terbuat dari dinding berbahan beton, sehingga dipengaruhi oleh koefisien *manning* (n).

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie, 2002). Untuk mengetahui dimensi saluran maka perlu diketahui kecepatan aliran air saat melewati saluran. Kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan dengan kecepatan air saat melewati screen.

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah air limbah dari proses produksi dialirkan menuju bak ekualisasi melalui saluran pembawa. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

**Kriteria Perencanaan:**

- Kecepatan aliran (v) = 0,2 – 0,8 m/s
- Kemiringan / Slope maksimal (smax) = 1 x 10<sup>-3</sup>m/m
- Freeboard = 5 – 30 % dari ketinggian

**Rumus-Rumus yang digunakan:**

1. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

A : Luas Permukaan Saluran Pembawa (m<sup>2</sup>)

Q : Debit Limbah (m<sup>3</sup>/detik)

V : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 19. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc.)

2. Kedalaman Air Dalam Saluran (H)

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

Keterangan :

H : Ketinggian air di saluran pembawa (m)

A : Luas Permukaan Saluran Pembawa (m<sup>2</sup>)

B : lebar saluran pembawa (m)

3. Kedalaman total (H total)

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

Keterangan :

H total : Kedalaman total (m)

Freeboard : kedalaman jika sewaktu-waktu terjadi fluktuasi (m)

4. Luas Penampang Basah

$$A = W \times H$$

Keterangan :

A : Luas Penampang basah(m<sup>2</sup>)

W : Lebar Saluran (m)

H : Ketinggian air di saluran pembawa (m)

5. Keliling Penampang basah

$$P = W \times 2H$$

Keterangan :

P : Keliling Penampang basah (m)

W: Lebar Saluran (w)

H: Ketinggian air dalam saluran (m)

6. Lebar (W)

$$W = 2 \times H$$

Keterangan :

W : Lebar (m)

H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

7. Cek Kecepatan (Vcek)

$$v = \frac{Q}{W \times H}$$

Keterangan :

V : Cek kecepatan (m/s)

Q : Debit Air Limbah (m<sup>3</sup>/detik)

W : Lebar (m)

H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

8. Jari – Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan :

R : Jari – Jari Hidrolis (m)

W : Lebar (m)

H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 19. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc.)

9. Headloss Saluran Pembawa

$$H_f = n \times L$$

Keterangan :

H<sub>f</sub> : Headloss saluran pembawa (m)

N : Koefisien manning

L : Panjang saluran pembawa (m)

10. Slope cek (m)

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

Keterangan :

S : Kemiringan (m)

n : Koefisien kekasaran manning

v : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

R : Jari – Jari Hidrolis (m)

## 2. *Fine Screen*

*Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada *influent* air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. 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*), atau seperti anak tangga (*step type*). enyaring 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>/detik.

Penggunaan *fine screen* memberikan beberapa manfaat dalam sistem pengolahan air. Pertama, *fine screen* dapat mengurangi beban padatan yang masuk ke proses selanjutnya, sehingga meningkatkan kinerja dan umur peralatan pengolahan (Metcalf & Eddy, 2014). Kedua, *fine screen* efektif dalam menghilangkan kotoran seperti rambut, serat, dan partikel kecil lainnya yang dapat mengganggu proses biologis pada pengolahan sekunder .

Terdapat beberapa jenis *fine screen* yang umum digunakan, termasuk *rotating drum screen*, *static screen*, dan *step screen*. Pemilihan jenis *fine screen* tergantung pada karakteristik air yang diolah, kapasitas yang dibutuhkan, dan pertimbangan operasional lainnya (Sperling, 2007).

Meskipun efektif, penggunaan *fine screen* juga memiliki tantangan. Salah satunya adalah potensi penyumbatan yang lebih tinggi dibandingkan *coarse screen*, sehingga memerlukan sistem pembersihan otomatis atau pemeliharaan rutin yang lebih intensif (Qasim, 1985).



**Gambar 2.5** *Fine Screen*

Sumber: <https://jashindia.com/products/static-screens/>

Terdapat beberapa jenis fine screen yang umum digunakan, termasuk rotating drum screen, static screen, dan step screen. Pemilihan jenis fine screen tergantung pada karakteristik air yang diolah, kapasitas yang dibutuhkan, dan pertimbangan operasional lainnya (Sperling, 2007).

Meskipun efektif, penggunaan fine screen juga memiliki tantangan. Salah satunya adalah potensi penyumbatan yang lebih tinggi dibandingkan coarse screen, sehingga memerlukan sistem pembersihan otomatis atau pemeliharaan rutin yang lebih intensif (Qasim, 1985).

Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2 – 6 mm.

**Tabel 2.1** Kriteria Saringan Halus

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi			mm
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan primer
	Halus		$6 \times 10^{-3} - 35 \times 10^{-3}$	<i>Stainless steel</i> dan kain polyster	Menyisihkan residual dari <i>suspended solid sekunder</i>
<i>Horizontal Reciprocating</i>	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi			mm
				saluran air hujan	
<i>Tangential</i>	Halus	0,047 5	1,2	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i> Gabungan dengan saluran air hujan	

Sumber: (Eddy, 2003)

**Tabel 2.2** Kemampuan Penyisihan (*Fine Screen*)

Jenis Screen	Ukuran Bukaannya		Kemampuan Penyisihan (%)	
	Inchi	mm	BOD	TSS
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5-30
<i>Rotary Drum Screen</i>	0,01	0,25	25-50	25-45

Sumber: (Eddy, 2003)

*Rotary Drum Screen* memiliki media penyaring yang dibangun dalam silinder yang berputar. *Rotary Drum Screen* pada umumnya memiliki konstruksi yang berbeda dalam penempatan media penyaring di dalamnya, akan tetapi pada umumnya media penyaring diletakkan mengikuti arah aliran air yang melalui media screen. Air buangan biasanya akan dialirkan melalui *rotary drum screen* hingga akhir silinder dan melalui screen yang terpasang pada ujung *rotary drum screen*. Padatan yang tersaring pada screen selanjutnya akan dikumpulkan pada sebuah wadah untuk kemudian disisihkan dari unit proses pengolahan air buangan. *Rotary Drum Screen* pada umumnya digunakan pada air buangan yang memiliki debit yang berkisar antara 0,03-0,8 m<sup>3</sup>/s dengan rata-rata penggunaan pada debit 0,13 m<sup>3</sup>/s. *Rotary Drum Screen* dapat dijumpai pada unit pengolahan air buangan dengan diameter antara 0,9-2 m dan panjang antara 1,2-4 m.

### 2.3.2 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi merupakan unit pengolahan yang bertujuan untuk meminimalkan atau mengendalikan fluktuasi karakteristik air limbah agar dapat

memberikan kondisi yang optimal untuk proses pengolahan selanjutnya (Eckenfelder, 2001).

Selain itu, bak ekualisasi dapat digunakan untuk mengatasi masalah operasional yang disebabkan oleh variasi debit, yang nanti akan tercapai debit yang konstan dalam sejumlah situasi yang berbeda (Metcalf & Eddy, 2004). Dalam prosesnya, bak ekualisasi dibantu dengan mixing atau aerasi, biasanya dilakukan untuk memastikan pemerataan yang memadai dan untuk mencegah padatan yang mengendap pada dasar bak. Beberapa metode yang telah digunakan untuk mixing atau aerasi meliputi: distribusi aliran masuk dan penyekat/baffle, mixing turbin, diffused air aeration, mechanical aeration, mixer terendam (Eckenfelder, 2001).

Kelebihan dan kekurangan unit bak ekualisasi dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Kelebihan dan kekurangan bak ekualisasi

<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi pengolahan akan meningkat juga konsentrasi dan debit influen yang merata</li> <li>• Menyamakan nilai pH sehingga mengurangi kebutuhan bahan kimia (bila menggunakan bahan kimia pada proses selanjutnya).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menambah kebutuhan lahan</li> <li>• Menambah kebutuhan biaya pengadaan, operasi, dan pemeliharaan</li> <li>• Berpotensi menimbulkan bau</li> </ul>

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018)

Agar mencegah terbentuknya padatan tersuspensi dalam dasar bak serta untuk meningkatkan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) dan mengurangi beban organik, dalam proses pemerataan konsentrasi lumpur tinja, bak ekualisasi dibantu menggunakan *baffle* pada titik influen, turbin, aerasi dengan diffuser atau aerator dengan waktu tinggal di dalam bak atau *hydraulic retention time* (HRT) yaitu 4-8 jam (Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2018). Dalam unit bak ekualisasi, tidak terdapat persen removal untuk parameter tertentu. Kriteria desain unit bak ekualisasi dapat dilihat pada tabel berikut:

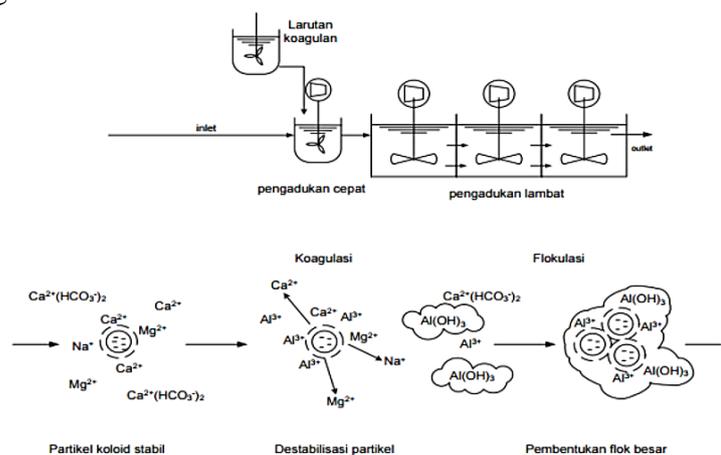
**Tabel 2.4** Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman air minimum, Hmin	Meter	1,5 – 2
Kemiringan, Slope	-	3:1 – 2:1
<i>Hydraulic retention time</i> , HRT	Jam	4 – 8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk air limbah dengan konsentrasi padatan tersuspensi <math>\geq 210</math> mg/l, diperlukan pengaduk 0,004-0,008 kW/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Untuk menjaga kondisi aerobik, dibutuhkan suplai udara 0,01-0,015 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Menit</li> </ul>		

Sumber: Metcalf & Eddy (2014:251-252); Said (2008:240)

### 2.3.3 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berkelanjutan dengan bentuk pencampuran koagulan hingga proses pembentukan flok yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan (Kawamura, 2000). Fungsi pengadukan sebagai upaya agar koagulan dapat bercampur maksimal dengan air baku. Terdapat dua sistem pengadukan yaitu, pengadukan cepat yang digunakan pada proses koagulasi dan pengadukan lambat yang digunakan pada saat proses flokulasi. Setelah 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.



**Gambar 2.6** Proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber: <http://chem-envi.blogspot.com/>

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

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 (Masduqi, A., & Assomadi, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi diantaranya:

- Destabilisasi partikel atau koloid
- Tumbukan Van der waals
- Gradien kecepatan
- Waktu detensi ( $T_d$ )

Koagulasi (rapid mix) berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia menjadi sama rata dalam bak dan memberikan hubungan yang cukup antara koagulan dengan partikel suspended solid. Diharapkan effluent dari proses koagulan dapat membentuk mikroflok. Tipe pengaduk yang digunakan ada 3 tahap antara lain :

- Pengaduk secara mekanik
- Pengaduk dengan hidrolis atau udara
- Pengaduk dengan *pneumatic* atau *baffle*

Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan.

### **1. Pengadukan Cepat**

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

- 1) Untuk proses koagulasi-flokulasi :

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
  - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$
- 2) Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda) :
- Waktu detensi = 20 - 60 detik
  - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$
- 3) Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain) :
- Waktu detensi = 0,5 - 6 menit
  - $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- 1) Pengadukan mekanis
- 2) Pengadukan hidrolis
- 3) Pengadukan pneumatic

## **2. 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  $\text{detik}^{-1}$ ) selama 10 hingga 60 menit atau nilai  $Gt_d$  (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: (Masduqi, A., & Assomadi, 2012)

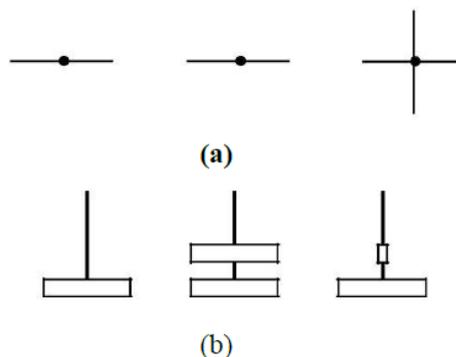
- 1) Untuk air sungai
  - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- 2) Untuk air waduk
  - Waktu = 30 menit
  - $G = 10-7$
  - 5  $\text{detik}^{-1}$
- 3) Untuk air keruh

- Waktu dan G lebih rendah
- 4) Bila menggunakan gram besi sebagai kaogulan
    - G tidak lebih dari 50 detik-1
  - 5) Untuk flokulator 3 kompartemen
    - G kompartemen 1 : nilai terbesar
    - G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1
    - G kompartemen 3 : nilai terkecil
  - 6) Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur dan soda)
    - Waktu detensi = minimum 30 menit
    - $G = 10 - 50$  detik-1
  - 7) 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:

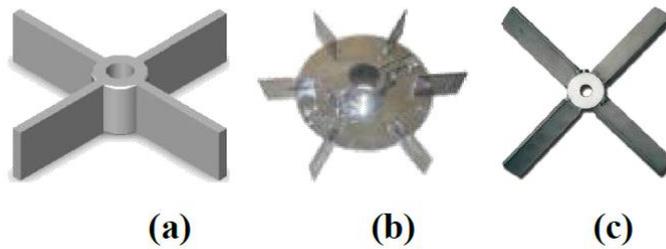
### 1. Pengadukan mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Bentuk ketiga *impeller* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8, serta Gambar 2.9.



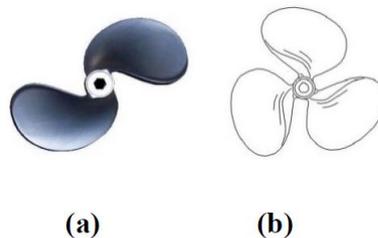
**Gambar 2.7** Tipe *Paddle* (a) tampak atas, (b) tampak samping

Sumber: (Qasim, 1985)



**Gambar 2.8** Tipe Turbine (a) turbine blade lurus, (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbin dengan blade menyerong

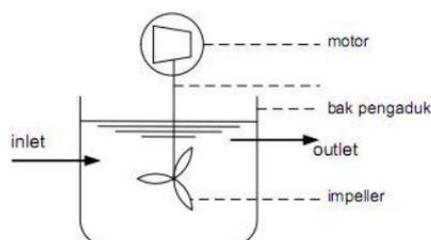
Sumber: (Qasim, 1985)



**Gambar 2.9** Tipe Propeller (a) propeller 2 blade, (b) propeller 3 blade

Sumber: (Qasim, 1985)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu  $G$  dan  $td$ . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan  $G$  di kompartemen I lebih besar daripada  $G$  di kompartemen II dan  $G$  di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



**Gambar 2.10** Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

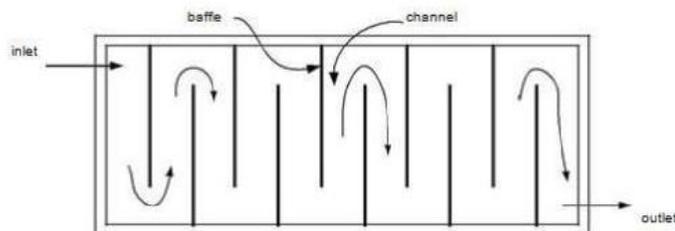
Sumber: (Masduqi, A., & Assomadi, 2012)

## 2. Pengadukan hidrolis

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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan (Gambar 2.11), loncatan hidrolik, dan *parshall flume*.

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

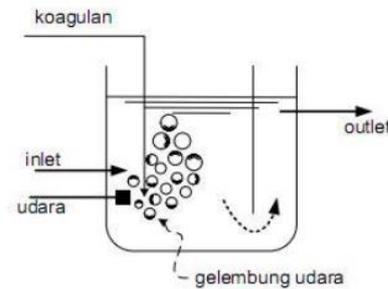


**Gambar 2.11** Pengadukan cepat dengan terjunan

## 3. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air (Gambar 2.12). 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 2.12** Pengadukan cepat secara pneumatic

Sumber: (Masduqi, A., & Assomadi, 2012)

Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti proses flokulasi. Fungsi dari proses koagulasi untuk memberikan koagulan (aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida) pada air buangan. Sedangkan fungsi dari proses flokulasi adalah untuk membentuk flok-flok. Perbedaan proses flokulasi dan koagulasi pada kecepatan pengadukannya, proses koagulasi memerlukan yang relatif cepat dibanding proses flokulasi. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , Ferri Klorida, Chlorinated Copperas.

Adapun kriteria perencanaan unit Koagulasi dan Flokulasi adalah sebagai berikut :

Kriteria Perencanaan :

1) Waktu detensi ( $T_d$ ) = 20 – 60 detik

2) Gradien kecepatan = 700 – 100/detik

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184

3) Tinggi bak ( $H$ ) = 1-1,25 Diameter bak

4) Nre Turbulen =  $>10000$

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182-187)

5) Diameter Impeller ( $D_i$ ) = 50 – 80% diameter atau lebar bak

6) Lebar paddle ( $W_i$ ) =  $1/6 - 1/10\text{m}$

- 7) Kecepatan putaran impeller = 20-150 rpm  
(Reynolds, Tom D. Dan Richards c. 2003)

#### 2.3.4 Sedimentasi

Bak sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan (sedimentasi) 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, A., & Assomadi, 2012)m. Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari *suspended solid* tanpa bantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25-40% BOD. Efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh aliran angin, suhu udara permukaan, suhu air, viskositas air, dan bilangan *eddy*.

Jenis-jenis bak sedimentasi ada beberapa jenis yaitu sebagai berikut :

1. Bentuk persegi (Rectangular)

Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2004):

- Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- Saluran inlet dengan port dan orifice
- Saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles.

2. Bentuk lingkaran (Circular)

Pada tangki circular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur lingkaran yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2004).

Removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap I ini berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal

partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak sedimentasi bentuk Rectangular terbagi menjadi empat zona, yaitu :

1) Zona Inlet

Zona inlet berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

2) Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor yaitu karakteristik partikel tersuspensi, Overflow rate , dan efisiensi bak.

3) Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

Zona lumpur merupakan zona dimana partikel-partikel diskret yang telah mengendap berada. Zona ini memiliki kemiringan tertentu menuju ke hopper yang terletak di bagian bawah inlet. Kemiringan dasar bak Rectangular adalah sebesar 1-2%. Zona lumpur didesain memiliki kemiringan tertentu agar mempermudah pada saat pembersihan lumpur. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim, 1985).

4) Zona Outlet

Desain Outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain

pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona Outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar.

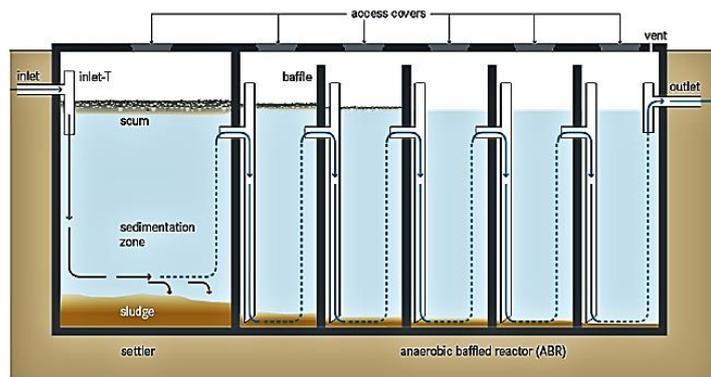
Berikut ini adalah kriteria perencanaan zona settling pada Bak Sedimentasi:

- Waktu detensi ( $t_d$ ) = 1,5 – 2,5 jam
- *Overflow rate* (Ofr) = 30 – 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.Hari
- *Weir Loading* = 125 – 500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.Hari  
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Treatment and Reuse 4th edition, hal 398. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)
- *Specify Gravity Sludge* (Sg)= 1,03
- *Specify Gravity Solid* (Ss) = 1,4  
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Treatment and Reuse 4th edition, hal 1456. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)
- Tebal plate settler = 0,005 m
- Jarak plate settler = 0,05 m
- Kemiringan plate settler = 60°  
(Sumber : L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 80)
- Slope = 1-2%  
(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 42)
- Bilangan Reynold (Nre) < 2000 (Laminer)
- Bilangan Froude (Nfr) >10-5  
(Sumber: L. Huisman Sedimentation and Flotation, halaman 73)
- Freeboard = 5 – 30 %  
(Sumber : Ven Te Chow. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
- Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,02 – 0,12
- Faktor fraksi hidrolis ( $\alpha$ ) = 0,03 m  
(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184)

### **2.3.5 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan suspended growth yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran upflow dan downflow) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganismenya. ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganismenya dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya (Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017).

Ruang upflow memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada septic tank konvensional. Pada unit ini, aliran masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m<sup>3</sup> per hari. Parameter desain meliputi waktu retensi hidraulik (HRT) antara 48 hingga 72 jam, kecepatan aliran ke atas air limbah di bawah 0,6 m/jam dan jumlah ruang aliran ke atas (3 hingga 6). Sambungan antara ruang dapat dirancang baik dengan pipa vertikal atau baffle. Biasanya, biogas yang dihasilkan dalam ABR melalui pengolahan anaerobik tidak dikumpulkan karena jumlahnya tidak mencukupi. Tangki harus berventilasi untuk memungkinkan pelepasan dari bau dan gas secara terkontrol yang berpotensi berbahaya. Teknologi ini cocok untuk area di mana lahan mungkin terbatas karena tangki paling sering dipasang di bawah tanah dan membutuhkan lahan yang kecil (Tilley et al., 2014). Mikroorganismenya berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65–90% COD; 70–95% BOD; dan 80–90% TSS. Efisiensi penyisihan bakteri patogen pada unit ini rendah sehingga membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017). Adapun contoh gambar ABR dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut.



**Gambar 2.13** Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Sumber : <https://sswm.info/taxonomy/term/3931/anaerobic-baffled-reactor-%28abr%29>

Adapun kriteria desain unit ABR adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.5** Kriteria Desain *Anaerobic Baffled Reactor*

Parameter	Nilai	Satuan
Debit desain	2 – 450	m <sup>3</sup> /hari
Waktu retensi hidraulik	12 – 96	Jam
Kecepatan upflow	<0,6	m/jam
Jumlah kompartemen	3 – 6	Buah

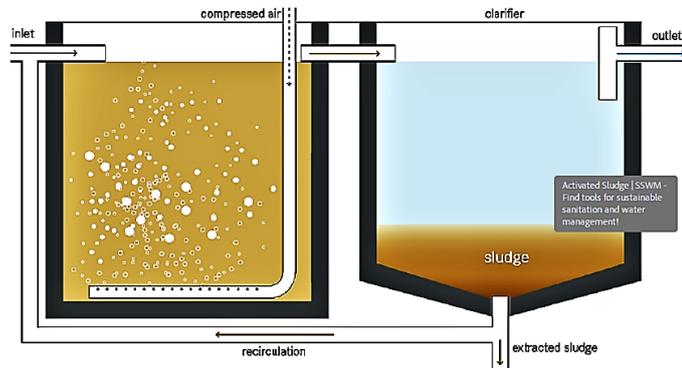
Sumber: Tilley, et al, 2014

### 2.3.6 *Activated Sludge*

Lumpur aktif (*activated sludge*) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi yang pertama kali dilakukan di Inggris pada awal abad 19. Sejak itu proses ini diadopsi seluruh dunia sebagai pengolah air limbah domestik sekunder secara biologi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>, dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (*diffused*) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangka penjernihan.

Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan

dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya.



**Gambar 2.14** Unit *Activated Sludge*

Sumber: <https://sswm.info/es/taxonomy/term/3808/activated-sludge>

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

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi system ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu.

Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *activated sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut dimetabolisme oleh mikroorganisme

menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>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:

#### 1. Konvensional

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

#### 2. Nonkonvensional

##### 1) Step aerasi:

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

##### 2) Tapered Aerasi

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

##### 3) *Contact Stabilisasi*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

- *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
- *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

##### 4) *Pure Oxygen*

Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.

##### 5) *High Rate Aeration*

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

6) *Extended Aeration*

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

7) *Oxidation Ditch*

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

a. Oksigen

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

b. Nutrisi

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

- Makro nutrient Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan fosfor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).
- Mikro nutrient Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni . Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan

mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Y.P. Ting, H. Imai and S. Kinoshita, 1994).

- c. Komposisi organisme Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifer.
- d. pH Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5- 7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan  $H_2SO_4$  atau NaOH maupun larutan kapur.
- e. Temperatur Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, Mark J, 1931). Adapun parameter penting untuk design activated sludge adalah:
  - F / M ratio.  
Merupakan perbandingan antara substrat (food) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (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 ( $C_0$ ).

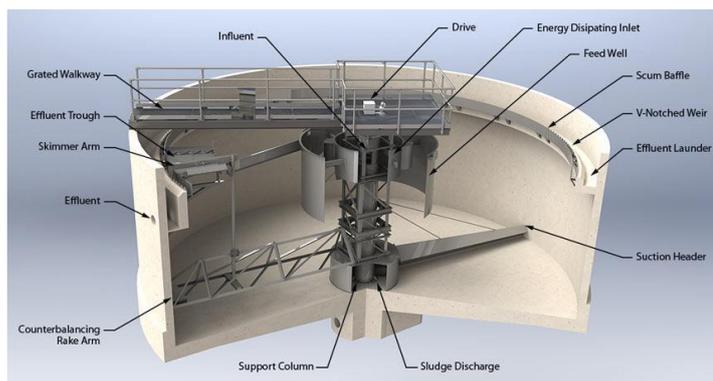
- Waktu detensi (td).  
Td adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
- Volume bak aerasi (V).

### 2.3.7 Clarifier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper blade yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga slude 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). *Secondary clarifier* merupakan bagian tak terpisahkan dari sistem activated sludge. Bagian ini berperan dalam proses pemisahan lumpur dari limbah yang telah diolah di dalam reaktor biologi.



**Gambar 2.15** Unit *Clarifier*

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

Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di *secondary clarifier* ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di *secondary clarifier* dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll.

Pada *secondary clarifier* ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan *preliminary clarifier* yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada *secondary clarifier* adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

### **2.3.8 Belt Filter Press**

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil 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:

1. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau.
2. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.

3. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

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

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*.

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 *Scrapper 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 2.16** Belt Filter Press

Sumber: (<http://palugada-engineering.com/mesin-belt-press-untuk-dewatering/>)

#### 2.4 Persen Removal Unit Pengolahan

Tujuan utama dari proses pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi beban pencemaran pada sumber air limbah dari industri pengolahan selai dan pewarna kue. Penurunan beban pencemaran tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase, yang digunakan sebagai indikator efektivitas setiap unit pengolahan dalam menurunkan tingkat pencemaran. Persentase penurunan (persen removal) dari masing-masing unit pengolahan yang digunakan sebagai alternatif pada industri selai dan pewarna kue dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.6** Persen Removal Unit Pengolahan Air Buangan Industri Selai dan Pewarna Kue

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	%Removal	Sumber/Literatur
<i>Fine Screen</i>	COD	5% - 20%	Metcalf and eddy. Wastewater Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition. Halaman 323.
	BOD	5% - 20%	
	TSS	5% - 30%	
Sedimentasi	TDS	10% - 20%	Droste. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . Halaman 224-225
	TSS	80% - 90%	Metcalf & Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> . Halaman 497
	BOD	30% - 80%	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	%Removal	Sumber/Literatur
	COD	30% - 60%	Syed R. Qasim, 1999. <i>Wastewater Treatment Plant Design and Operation</i> . Halaman 347
<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	COD	75% - 90%	Qasim & Guang Zhu. 2018. <i>Wastewater Treatment and Reuse</i> . Vol. 1. Halaman 277
	BOD	75% - 90%	
	TSS	80% - 90%	
<i>Activated Sludge</i>	BOD	85% - 95%	Qasim & Guang Zhu. 2018. <i>Wastewater Treatment and Reuse</i> . Vol. 1. Halaman 277
	COD	85% - 95%	
<i>Clarifier</i>	TSS	60%	Syed R. Qasyim. WWTP, Planing, Design and Operation. Halaman 66

## 2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (*influent-effluent*) 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.

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut: (Purwanti, 2015)

### 1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- 1) Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- 2) Kehilangan tekanan pada bak
- 3) Kehilangan tekanan pada pintu air
- 4) Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus dihitung

## 2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- 1) Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- 2) Kehilangan tekanan pada perpipaan
- 3) Kehilangan tekanan pada aksesoris
- 4) Kehilangan tekanan pada pompa.

## 3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat mengakibatkan kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan 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:

- 1) Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- 2) Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well
- 3) Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- 4) Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

## 4. Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Pompa disesuaikan dengan spesifikasi debit yang digunakan.