

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Minyak Sawit

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Kelapa sawit menghasilkan produk olahan yang mempunyai banyak manfaat (Lubis, 1992). Produk minyak kelapa sawit tersebut digunakan untuk industri penghasil minyak goreng, minyak industri, bahan bakar, industri kosmetik dan farmasi.

Permintaan dunia akan minyak sawit terus meningkat sehingga pasaran ekspornya selalu terbuka lebar dan dapat menghasilkan keuntungan yang besar. Maka dari itu, luas perkebunan sawit akan semakin besar pula sesuai dengan kebutuhan minyak sawit. Luas perkebunan kelapa sawit yang besar akan diiringi dengan volume ekspor yang tinggi pula.

Pertambahan dan peningkatan areal pertanaman kelapa sawit diiringi pertambahan jumlah industri pengolahannya menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula. Hal tersebut disebabkan oleh bobot limbah pabrik kelapa sawit yang harus dibuang semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, baik kuantitas sumber daya alam, kualitas sumber daya alam, maupun lingkungan hidup.

Dampak negatif limbah yang dihasilkan dari suatu industri menuntut pabrik agar dapat mengolah limbah dengan cara terpadu. Pemanfaatan limbah menjadi bahan-bahan yang menguntungkan atau mempunyai nilai ekonomi tinggi dilakukan untuk mengurangi dampak negatif bagi lingkungan dan mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan.

Limbah industri pertanian khususnya industri kelapa sawit mempunyai ciri khas berupa kandungan bahan organik yang tinggi. Kandungan bahan organik tersebut dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan kelapa sawit. Limbah industri minyak

sawit memungkinkan dimanfaatkan pada lahan perkebunan kelapa sawit untuk menghindari pencemaran lingkungan dan mengatasi kebutuhan pupuk.

2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Minyak Sawit

Setiap industri memiliki karakteristik air limbah yang berbeda-beda, sesuai dengan kegiatan/proses produksi dan/atau produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Industri

Minyak Sawit yang mempunyai karakteristik limbahnya tersendiri sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Lampiran III Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Minyak Sawit.

Berdasarkan peraturan yang diacu, terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industri minyak sawit yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya pH, BOD, COD, TSS, Minyak/Lemak, dan Nitrogen Total. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik air limbah industri minyak sawit sebagai berikut:

2.2.1 pH

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

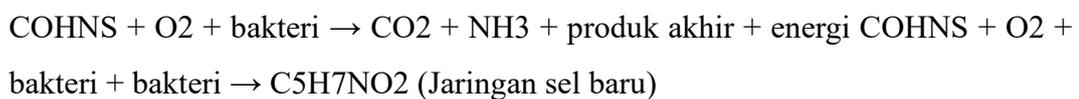
$$pH = -\text{Log}_{10} [H^+]$$

Mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral yaitu berkisar antara 6 hingga 9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) yang tinggi sulit diolah secara biologis sehingga perlu diolah terlebih dahulu melalui unit pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu baik Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 maupun oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 yaitu sebesar 6 sampai 9. Umumnya pada air limbah industri minyak kelapa sawit, pH berkisar antara 3,5 hingga 6 yang berarti limbah cair industri minyak kelapa sawit bersifat asam dan diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai.

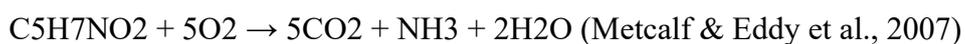
2.2.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD5 adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 2008).

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. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia: Oksidasi: Sintesis:



Respirasi endogen:



2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik oleh bahan kimia pengoksidasi kuat dalam larutan asam. Umumnya ada hubungan linear antara COD dan hasil BOD5. Hubungan ini tergantung sepenuhnya pada komposisi air limbah (Qasim & Zhu, 2017).

Pengukuran COD dilakukan dengan menambahkan reagen oksidator ke dalam sampel air atau limbah, dan kemudian mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam sampel. Hubungan antara

Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD) adalah bahwa keduanya digunakan untuk mengukur kandungan bahan organik dalam air atau limbah. BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air atau limbah, sedangkan COD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air atau limbah. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD (Metcalf & Eddy et al, 2007).

Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300 mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/L.

2.2.4 Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang- layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan- bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003). Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS 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 sulfat 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).

2.2.5 Minyak dan Lemak

Istilah minyak dan lemak, seperti yang umum digunakan, termasuk lemak, minyak, dan lilin ditemukan dalam air limbah. Istilah lemak 6 minyak telah banyak digunakan oleh literatur. Kandungan minyak dan lemak dari air limbah dengan ekstraksi sampel limbah dengan trifluoroethane trikloro (minyak dan lemak yang larut dalam trifluoroethane trikloro). Minyak dan lemak secara kimiawi sangat mirip, mereka adalah senyawa ester dari alkohol atau gliserol (gliserin) dengan asam lemak. Asam lemak gliserid yang cair pada suhu normal disebut minyak dan yang padat disebut grease (lemak). Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan permukaan dan membuat lapisan tembus cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk membentuk sebuah lapisan tembus cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in). (Metcalf-Eddy, 2003)

2.2.6 Amoniak (NH₃-N)

Amonia adalah senyawa kimia yang bersifat basa dan memiliki kandungan unsur nitrogen yang dapat memicu pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Sumber amonia adalah reduksi gas nitrogen yang bersal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik.

Standar baku mutu Amonia dalam industri minyak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 2014 Lampiran III).

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, 2008), dalam

proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan dan satu tahapan lain yaitu:

a. 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.

b. 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

c. 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.

d. 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.

e. Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung

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 lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Adapun bangunan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair di industri minyak kelapa sawit, antara lain:

2.3.1 Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah 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).

Saluran 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. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka.

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)

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	0,035
Kerikil	0,029

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

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q (m^3/s)}{v (m/s)}$$

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah ($m^3/detik$)

v = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa ($m/detik$)

Sumber: (Chow, Ven Te, 1959)

- Kedalaman Saluran (H)

$$A = W \times H$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

W = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

$$H_{\text{Total}} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan:

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m), *freeboard* = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

V = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

- Jari-Jari Hidrolis (R)

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

Keterangan:

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

W = lebar saluran pembawa (m)

Sumber: (Chow, Ven Te, 1959)

- Slope Saluran (Rumus Manning)

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

Keterangan :

S = slope/kemiringan saluran (m)

V = cek kecepatan (m/detik)

n = koefisien manning saluran (m/m)

R = jari – jari hidrolis (m)

- *Headloss* Saluran Pembawa

H_f = Slope x L saluran

Keterangan:

H_f = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

2.3.2 Bar Screen

Bar screen digunakan dalam pengolahan air baik air limbah maupun air bersih. Barscreen berfungsi untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5–1 cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang disaluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (Metcalf & Eddy, 2003). Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu:

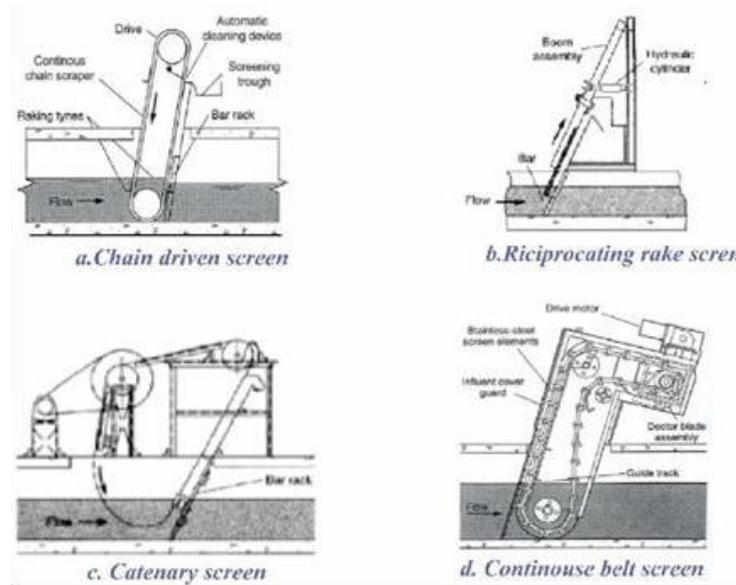
1. Merusak peralatan unit pengolahan berikutnya;
2. Mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan
3. Mencemari saluran air. Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar).

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



Gambar 2.1 Screen Dengan Pembersihan Manual

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/manual-bar-screen-15447659648.html>)



Gambar 2.2 Screen Dengan Pembersihan Mekanik

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik *coarse 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	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 - 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
Parameter Lain				
Kemiringan terhadap vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 - 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Headloss	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

Sumber: (Metcalf and Eddy, 2003 Halaman 315- 316)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi *bar screen*

$$\text{Tinggi } \textit{bar screen} = \text{HSaluran} + (\text{fb} \times \text{HSaluran})$$

Keterangan:

H = tinggi

Fb = *freeboard*

- Jumlah Batang Kisi (n)

$$\text{ws} = (\text{n} \times \text{d}) + (\text{n}+1) \times \text{r}$$

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (wc)

$$\text{wc} = \text{ws} - (\text{n} \times \text{d})$$

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

$$\gamma = \text{h} + \textit{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (L)

$$L = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (X)

$$X = \frac{\gamma}{\tan \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{wc \times h}$$

Keterangan

Q = debit *inlet* air limbah (m^3/s)

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

- *Headloss* pada *Bar screen* saat non-clogging

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

C merupakan koefisien pada saat non-clogging yaitu 0,7

- *Headloss* pada *Bar screen* saat clogging

$$H_f = \frac{1}{c_c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C_c merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6

2.3.3 Bak Penampung

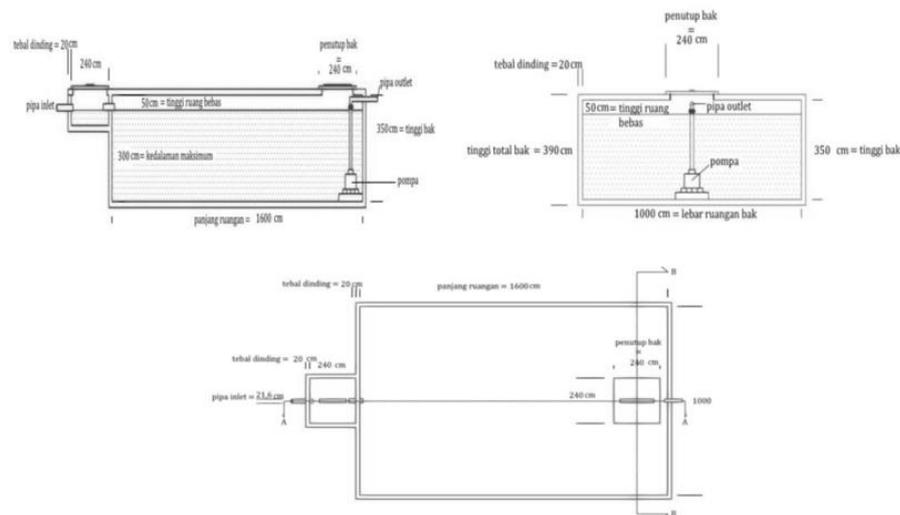
Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan 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).

Manfaat utama dari aplikasi bak penampung antara lain:

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

Namun unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

- Memerlukan area/lokasi yang cukup luas
- Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal
- Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.3 Unit Bak Penampung dan Gambar Penampung

(Sumber: Effendi, 2003)

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Kementerian PUPR, 2017) :

- Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- 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 rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung antara lain:

- Dimensi Bak Penampung

$$V = W \times L \times H$$

Keterangan:

V = volume bak (m³)

L = panjang bak (m), dengan 2 x L

W = lebar bak (m)

H = ketinggian bak pengumpul (m)

- Kedalaman Total (H_{Total})

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

Keterangan:

Fb = *freeboard*

H = ketinggian bak pengumpul (m)

- Pipa *Outlet* Pompa

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

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

V = volume bak

- Pompa

- a. Kecepatan aliran saat keluar (discharge)

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Keterangan:

A = luas bak

d = diameter pipa

- *Headloss*

- a. *Headloss* Mayor (Hf Mayor)

$$H_f \text{ Mayor} = \frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,82}} \times L$$

- b. *Headloss* Minor (Hf Minor)

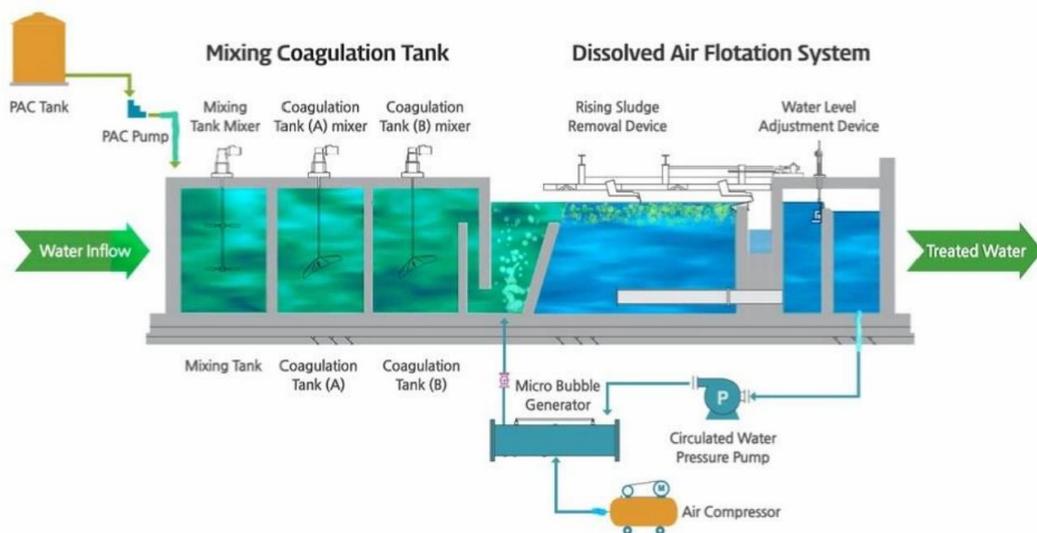
$$H_f \text{ Minor} = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

- c. *Headloss* Total = Ha + Hf mayor + Hf minor

2.3.4 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 2.4 Proses Dissolved Air Flotation

(Sumber : <https://www.pakaripal.com/produk-servis/waste-water-treatment-plant-wwtp/88-flotasi-pengapungan-daf-dissolved-air-flotation.html>)

Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi-flokulasi dalam sistem pengolahan sebagai berikut:

1. Flotasi

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:

a) Air Flotation

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.

b) Dissolved Air Flotation

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.

c) Vacum Flotation

Limbah cair diaerasi hingga jenuh sehingga akan terbentuk gelembung udara yang akan lolos ke atmosfer dengan mengangkat partikel-partikel ke atas. Pada tugas perancangan ini kelompok kami menggunakan jenis Dissolved Air Flotation (DAF)

2. Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi.

Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi (Said, 2017).

Proses koagulasi ini merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (flash mixing)

bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan ferric chloride karena proses hidrolisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses flash mixing. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, aluminium sulfat, feri sulfat, dan ferro sulfat (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016):

a) Suhu Air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

b) Derajat Keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum

c) Jenis Koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

d) Kecepatan Pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

e) Kadar Ion Terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

f) Tingkat Kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

g) Dosis Koagulan

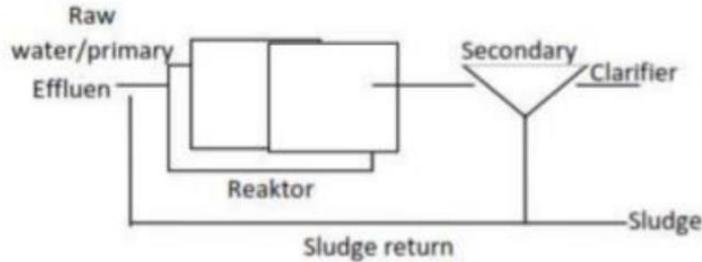
Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik. Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

2.3.5 Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif atau activated sludge adalah sebuah sistem pengolahan yang memanfaatkan bakteri aerobik yang dikembangkan dalam tangki aerasi. Tujuannya adalah untuk mengurangi kadar organik karbon atau nitrogen organik dalam air limbah. Dalam proses pengurangan senyawa organik, bakteri heterotrof berperan penting. Mereka menggunakan senyawa organik sebagai sumber energi dan karbon (organik karbon). Sistem activated sludge bertujuan untuk menghilangkan beban organik, seperti COD, ammonia, dan fenol, dengan 41 bantuan bakteri dan mikroba sebagai agen pengurai. Bakteri dan mikroba ini tumbuh dalam kondisi aerobik dan berkembang biak secara bebas. Terdapat beberapa jenis proses activated sludge, antara lain:

a. Konvensional

Sistem ini terdiri dari tangki aerasi, secondary clarifier, dan recycle sludge. Proses ini melibatkan absorpsi, flokulasi, dan oksidasi bahan organik.



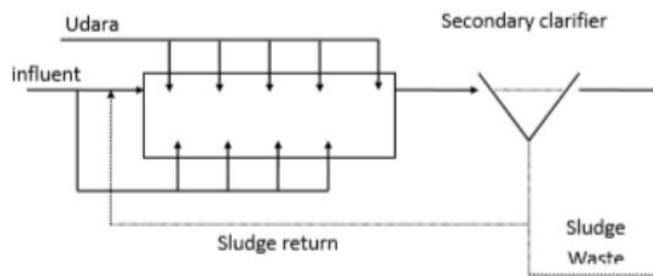
Gambar 2.5 Activated Sludge Konvensional

(Sumber : Reynold, 427)

b. Non-konvensional

Terdapat beberapa jenis proses non-konvensional, termasuk:

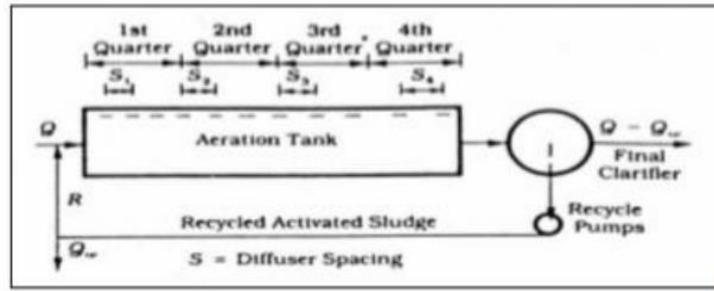
- Step Aeration : Merupakan tipe aliran plug dengan perbandingan antara substrat dan mikroorganisme (F/M) yang menurun menuju outlet. Air limbah masuk melalui beberapa titik di tangki aerasi untuk mengurangi rasio substrat dan mikroorganisme serta mengurangi kebutuhan oksigen pada tahap awal. Keuntungannya adalah memiliki waktu detensi yang lebih pendek.



Gambar 2.6 Activated Sludge Step Aeration

(Sumber : Reynold, 441)

- Tapered Aeration : Mirip dengan step aerasi, tetapi injeksi udara pada tahap awal lebih tinggi.



Gambar 2.7 Activated Sludge Tapered Aeration

(Sumber : Reynold, 430)

- Contact Stabilization: Sistem ini melibatkan dua tangki, yakni:
 1. Contact tank, yang bertujuan untuk menyerap bahan organik sebelum diproses dalam lumpur aktif.
 2. Reaeration tank, yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah diserap dalam proses stabilisasi.

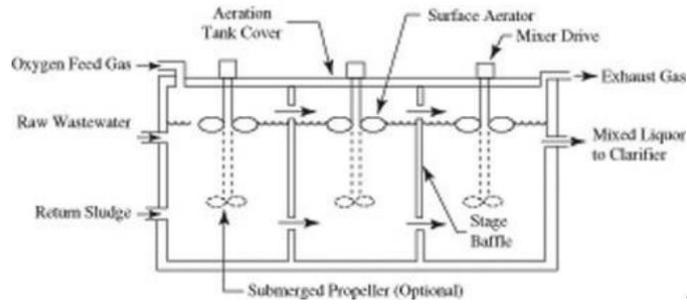


Gambar 2.8 Activated Sludge Contact Stabilization

(Sumber : <https://www.americanwatercollege.org/68258-2/>)

- Pure Oxygen

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

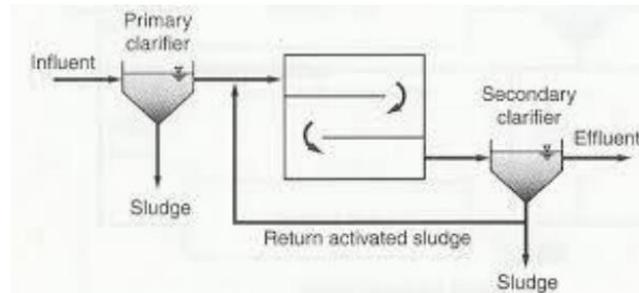


Gambar 2.9 Activated Sludge Pure Oxygen

(Sumber : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-60327-156-1_7)

- High Rate Aeration

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



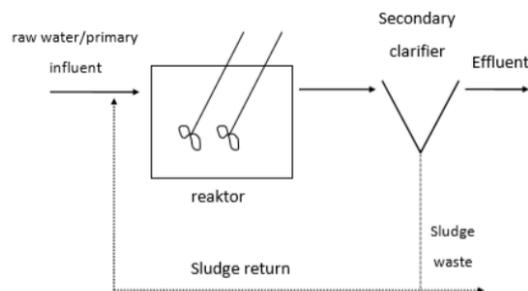
Gambar 2.10 Activated Sludge High Rate Aeration

(Sumber :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419310636>)

- Extended Aeration

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



Gambar 2.11 Activated Sludge Extended Aeration

(Sumber : Morgan, Barak & Lahav, Ori & Loewenthal, R. (2005))

- **Oxidation Ditch**

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s.



Gambar 2.12 Activated Sludge Oxidation Ditch

(Sumber : <https://www.aireo2.com/en/applications/oxidation-ditches/>)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung activated sludge antara lain:

➤ **Bak Pembubuh**

1. Kebutuhan Alum

Keb. Alum = dosis alum x Q air limbah

2. Kebutuhan Alum Jika Kadar 60%

Keb. Alum jika kadar 60% = $\frac{100\%}{60\%} \times \text{kebutuhan alum}$

3. Debit Alum

$Q \text{ alum} = \frac{\text{kebutuhan alum}}{\rho \text{ alum}}$

4. Volume Air Pelarut

$\text{Vol air pelarut} = \frac{\text{Kadar air cair alum}}{\text{Kadar alum larutan}} \times \text{debit alum}$

5. Volume Larutan Total

Vol larutan total = debit alum + vol air pelarut

6. Cek bilangan Reynold

$\text{Cek Nre} = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$

➤ **Bak Flotasi**

1. Tekanan Udara

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \times sa ((f \times p) - 1)}{150}$$

Volume bak flotasi dan Dimensi

$$V = Q \times Td$$

2. Dimensi bak flotasi

$$V = L \times B \times H$$

3. Kedalaman bak flotasi

$$H \text{ total} = H + (20\% \times H)$$

4. Surface Loading Rate (SLR)

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

5. Luas Permukaan Bak Flotasi

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

6. Jari-Jari Hidrolis

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

7. Diameter Pipa Outlet

- a. Luas penampang pipa

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

- b. Diameter pipa

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

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

➤ **Removal TSS**

1. TSS Tersisihkan

$$\text{TSS tersisihkan} = \text{TSS influent} \times \% \text{ removal}$$

2. TSS Effluent

$$\text{TSS effluent} = \text{TSS influent} - \text{TSS tersisihkan}$$

3. Massa TSS yang Tersisihkan

$$\text{Massa TSS} = \text{TSS tersisih} \times Q$$

4. Volume TSS Tersisihkan

$$V_{TSS} = \frac{\text{Massa TSS}}{\rho_{solid}}$$

5. Berat Air Tersisihkan

$$\text{Massa air} = \frac{97\%}{3\%} \times \text{massa TSS}$$

6. Volume Air

$$V_{air} = \frac{\text{Massa air}}{\rho_{air}}$$

7. Volume Sludge

$$V_{sludge} = V_{TSS} + V_{air}$$

8. Debit Lumpur (QL)

$$QL = \frac{V_{sludge}}{\text{Waktu pengurasan}}$$

Luas penampang pipa sludge

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

Diameter pipa sludge

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

9. Berat Sludge

$$\text{Berat Sludge} = V_{sludge} \times \rho_{sludge}$$

➤ Bak Penampung Minyak

1. Minyak dan Lemak yang Tersisihkan

$$\text{Minyak Lemak tersisihkan} = \text{Influent} \times \% \text{ removal}$$

2. Minyak dan Lemak effluent

$$\text{Effluent} = \text{Influent} - \text{minyak lemak tersisihkan}$$

3. Massa Minyak dan Lemak yang Tersisihkan

$$\text{Massa Minyak Lemak} = \text{Minyak lemak tersisih} \times Q$$

4. Debit Minyak Bersih (QM)

$$QM = \frac{\text{Massa Minyak Lemak}}{\rho_{minyak}}$$

5. Debit Effluent

$$Q_{eff} = (Q_{influent} + Q_{pembubuh}) - Q_{tersisih}$$

6. Volume Bak Penampung Minyak

$$V_{BPM} = QM \times t_d$$

7. Dimensi Bak Penampung Minyak

$$V_{BPM} = L \times B \times H$$

$$H_{BPM} \text{ total} = H + \text{freeboard}$$

➤ Baffle and Gutter

1. Kecepatan Belokan Pada Saat Melewati Baffle

$$V_b = \frac{Q_{eff}}{B \times H}$$

2. Tinggi Air Diatas Gutter

$$Q_{AG} = \frac{2}{3} \times B \times C_d \times \sqrt{2g} \times H^{2/3}$$

➤ Kebutuhan Udara

1. **Kebutuhan Teoritis** = Total massa yang tersisihkan

2. **Kebutuhan O₂ Teoritis** = Kebutuhan teoritis x Faktor desain

3. **Σ Kebutuhan O₂ Teoritis** = $\frac{\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{Berat standar udara x O}_2 \text{ dalam udara}}$

4. **Kebutuhan O₂ Aktual** = $\frac{\text{Jumlah kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{Efisiensi udara}}$

➤ Desain Perpipaan

1. Panjang Pipa Lateral

$$L_L = \frac{\text{Lebar bak flotasi} - \text{diameter pipa manifold}}{2}$$

2. Jumlah Pipa Lateral Pada Tiap Sisi Pipa Manifold

$$L_M = n \times D_L + (n+1) \times r_L$$

3. Jumlah Lubang Orifice Pada Tiap Pipa Lateral

$$L_L = n \times D_o + (n+1) \times r_o$$

2.3.6 Clarifier

Secondary clarifier (Bak Pengendap II) berfungsi untuk memisahkan lumpur aktif dari Mixed-liquor suspended solids (MLSS). Lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke activated sludge (tangki aerasi) dan sludge yang mengandung mikroorganisme yang sudah mati atau tidak aktif lagi dalirkan ke pengolahan lumpur.

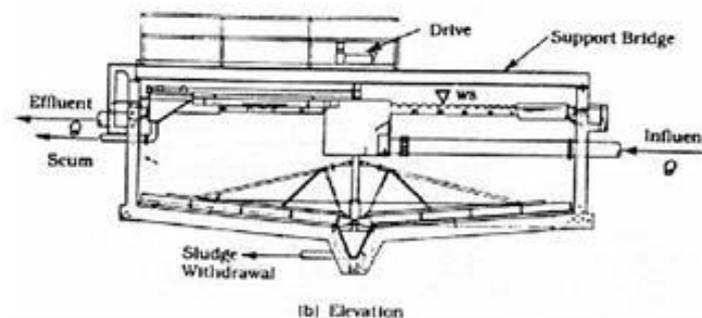
Langkah ini merupakan langkah akhir untuk meghasilkan effluen yang

stabil dengan konsentrasi BOD dan SS yang rendah. Dengan adanya volume yang besar dari solid yang flokulen dalam MLSS, maka diperlukan pertimbangan khusus untuk mendesain bak pengendap II. Adapun faktor –faktor yang menjadi pertimbangan dalam desain adalah:

1. Tipe tangki yang digunakan
2. Karakteristik pengendapan sludge
3. Kecepatan aliran
4. Penempatan weir dan weir loading rate

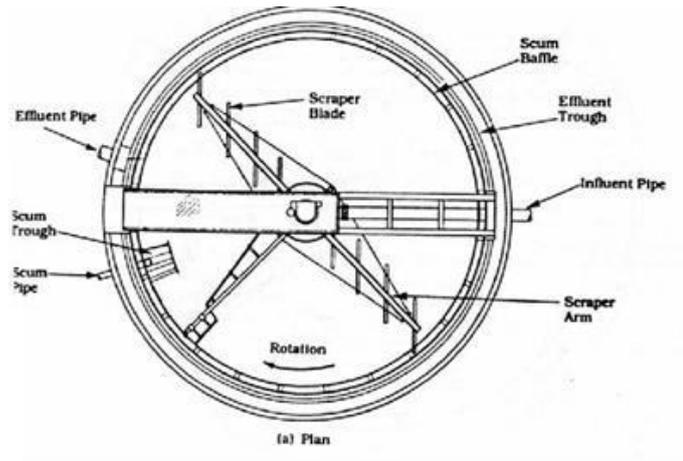
Prinsip operasi yang berlangsung di dalam secondary clarifier ini adalah pemisahan dari suatu suspensi ke dalam fase-fase padat (sludge) dan cair dari komponen-komponennya. Operasi ini dipakai dimana cairan yang mengandung zat padat ditempatkan dalam suatu bak tenang dengan desain tertentu sehinggakan terjadi pengendapan secara gravitasi.

Secondary clarifier ini merupakan rangkaian proses dari activated sludge yang operasinya merupakan sistem continuous mixed flow. Sedangkan untuk menentukan besar lumpur yang diresirkulasi ke dalam bak aerasi, maka dilakukan control dengan suatu pengukuran dalam bak pengendap yang disebut sludge volume index (SVI). Indeks ini didefinisikan sebagai volume lumpur dalam ml yang terendapkan dari satu gram MLSS setelah diendapkan selama 30 menit dalam 1000 ml. SVI umumnya berada dalam range 50-150 ml/gram yang mengidentifikasi pengendapan lumpurnya berjalan dengan baik.



Gambar 2.13 Denah Clarifier

Sumber: Reynold & Richards, 1996



Gambar 2.14 Potongan Clarifier

Sumber: Reynold & Richards, 1996

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung clarifier antara lain:

➤ **Zona Pengendapan (*Settling Zone*)**

1. Qin Pada Clarifier

$$Q_{in} = Q_o + Q_r$$

2. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{Over Flow Rate}}$$

3. Diameter Bak

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

4. Cek *Over Flow Rate*

$$\text{Over Flow Rate} = \frac{Q}{A}$$

5. Cek Waktu Detensi

- Volume Zona Pengendapan

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

- Waktu Sesuai *Overflow Design*

$$T_d = \frac{V}{Q_{in}}$$

6. Kecepatan Pengendapan (v_s)

$$V_s = \frac{H}{T_d}$$

7. Kecepatan Horizontal (v_h)

$$V_h = \frac{D}{Td}$$

8. Jari-Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{\pi x \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi x D}$$

9. Diameter Partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{Vs x 18 x \mu}{g (Sg-1)}}$$

10. Cek Bilangan *Reynold* Partikel (NRe Partikel)

$$NRe \text{ Partikel} = \frac{D_p x Vs}{\mu}$$

11. Cek Bilangan *Reynold* (Nre)

$$Nre = \frac{v_h x r}{\mu}$$

12. Cek Bilangan *Freud* (NFr)

$$NFr = \frac{v_h}{\sqrt{g x H}}$$

13. Cek Penggerusan/Kecepatan *Scouring* (v_{sc})

$$V_{sc} = \left[\left(\frac{8 x \beta}{\lambda} \right) x (Ss - 1) x g x D_p \right]^{1/2}$$

➤ **Zona Inlet**

1. Diameter *Inlet Wall* (Diw)

$$Diw = 20\% x \text{ Diameter Bak}$$

2. Luas Permukaan (A)

$$A = \pi x \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

3. Kecepatan Air di *Inlet* Awal (V')

$$V' = \frac{Q_{in}}{A}$$

4. Pipa *Inlet*

- Luas Penampang Pipa (A)

$$A = \frac{Q_{in}}{v}$$

- Diameter Pipa (D)

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

5. Cek Kecepatan Aliran

$$V_{\text{cek}} = \frac{Q_{in}}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

➤ Zona Thickening

1. MLVSS dalam Clarifier

$$MLVSS_{BA} = \%Biological \times MLVSS_{Total}$$

2. $MLVSS_{Clarifier} = MLVSS_{Total} - MLVSS_{BA}$

3. Massa Solid Total pada Clarifier

$$M_{Solid\ Total} = MLVSS_{Clarifier} \times V_{Clarifier}$$

4. Kedalaman Zona Penipisan

$$H = \frac{M_{solid\ total}}{X \times A}$$

➤ Zona Lumpur (Sludge Zone)

1. Removal TSS

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \text{Removal TSS}))$$

2. Berat Solid

$$\text{Berat Solid MLVSS} = (\text{removal TSS} \times Q_{in}) + P \times MLSS$$

3. Berat Jenis Solid

$$\text{Berat Jenis Solid} = \text{Specific Gravity Of Solid (Ss)} \times \rho_{\text{air}}$$

4. Volume Solid

$$\text{Volume Solid} = \frac{\text{Berat solid}}{\text{Berat jenis solid}}$$

5. Berat Air

$$\text{Berat Air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat Solid}$$

6. Volume Air

$$\text{Volume Air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat jenis air}}$$

7. Volume Sludge

$$\text{Volume Sludge} = \text{Volume Solid} + \text{Volume Air}$$

8. Debit Lumpur

$$Q_L = \frac{\text{Volume Sludge}}{\text{Waktu Pengurasan}}$$

- **Luas penampang pipa sludge**

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

- **Diameter pipa sludge**

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

- **Kecepatan aliran**

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

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

9. Massa Jenis Sludge

$$\rho \text{ sludge } (\rho_{sg}) = S_g \times \rho \text{ air}$$

10. Berat Sludge

$$\text{Berat Sludge} = \text{Volume Sludge} \times \text{Massa Jenis Sludge}$$

11. Dimensi Ruang Lumpur

- **Kedalaman Ruang Lumpur**

$$V_{\text{Ruang Lumpur}} = \frac{1}{3} \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + (R \times r))$$

- **Kedalaman Total Clarifier**

$$H_{\text{Clarifier}} = H_{\text{Settling Zone}} + H_{\text{Thickening Zone}} + H_{\text{Sludge Zone}}$$

➤ Zona Outlet

1. Panjang Pelimpah (weir)

$$L_{\text{weir}} = \pi \times D_{\text{bak}}$$

2. Jumlah V notch

$$n_{\text{V notch}} = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{jarak antar weir}}$$

3. Debit melalui V notch

$$Q = \frac{Q}{n}$$

4. Tinggi Limpahan Melalui V Notch

$$Q = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

5. Luas Permukaan Saluran Pelimpah

$$A = \frac{Q_{in}}{V}$$

6. Tinggi Saluran

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

7. Lebar Saluran

$$W = 2H$$

8. Freeboard

$$Fb = 20 \% \times H$$

9. H Total

$$H \text{ Total} = H + fb$$

10. Diameter Pipa Inlet Dari Activated Sludge

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

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

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A}$$

11. Diameter Pipa Outlet Ke Badan Air

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

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

12. Diameter Pipa Resirkulasi Ke Activated Sludge

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

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

13. Diameter Pipa Sludge ke Sludge Drying Bed

$$A = \frac{Q_{in}}{V}$$

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

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A}$$

14. Kecepatan aliran saat masuk (suction)

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

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

15. Headloss Mayor

$$H_{f \text{ mayor}} = \left[\frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \right] \times L$$

16. Headloss Minor = $n \times k \times \frac{v^2}{2 \times g}$

17. Kecepatan aliran saat keluar (discharge)

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

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

2.3.7 Sludge Drying Bed

Pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

- Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang 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 mereduksi kadar lumpur dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Unit pengolahan lumpur meliputi :

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari thickener. 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 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengeringan alami dengan matahari, maka air akan keluar melalui saringan dan penguapan. Pada mulanya keluarnya air melalui saringan berjalan lancar dan kecepatan pengurangan air tinggi, tetapi jika bahan penyaring (pasir) tersumbat maka proses pengurangan air hanya tergantung kecepatan penguapan. Kecepatan pengurangan air pada bak pengering lumpur seperti ini bergantung pada penguapan dan penyaringan, dan akan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, sinar matahari, hujan, ketebalan lapisan lumpur, kadar air, sifat lumpur yang masuk dan struktur kolam pengeringan (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung sludge drying bed antara lain:

1. Tebal Media

$$\text{Tebal Media} = \text{Tebal Pasir} + \text{Tebal Kerikil} + \text{Tebal Cake}$$

2. Volume Lumpur Tiap Bed (Vb)

$$V_b = \frac{\text{Volume Lumpur Total}}{\text{Jumlah bed}}$$

3. Volume Sludge Cake (Vi)

$$V_i = \frac{V_b (1-P)}{(1-P_i)}$$

4. Volume Sludge Drying Bed (V)

$$V = V_i \times T_d$$

5. Dimensi Sludge Drying Bed

$$A = \frac{V}{\text{Tebal cake}}$$

$$A = L \times B$$

$$B = \sqrt{\frac{275}{2}}$$

$$L = 2B$$

6. Volume Air (Va)

$$V_a = \frac{\text{Volume lumpur total} - V_i}{\text{Jumlah bed}} \times t_d$$

7. Kedalaman Underdrain

$$H_{\text{underdrain}} = \frac{V_a}{A \text{ bed}}$$

8. Kedalaman Total

H air = Kedalaman media + Kedalaman underdrain

H bangunan = H air + Hfb

9. Debit Pipa Underdrain

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

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

2.4 Profil Hidrolis

Hal – hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat Profil Hidrolis, antara lain:

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 (Metcalf & Eddy, 2003) :

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka

Rumus yang digunakan :

$$V = \frac{1}{N} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dimana :

V : Kecepatan air (m/dt)

N : Koefisien tekanan (tergantung material)

R : Jari-jari hidrolis (m)

S : Slope

- Kehilangan tekanan pada bak

Rumus yang digunakan :

$$\frac{V^2}{2 \cdot g}$$

- Kehilangan tekanan pada pintu
Rumus yang digunakan : $h_e = C_e \frac{V}{2g}$
 - Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan assesoris
- Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
Rumus yang digunakan : $L \times S$
 - Kehilangan tekanan pada assesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus.
 - Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
 - 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 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 :
- Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
 - Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well didapat
 - tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake

- Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.