

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakter Limbah Industri Roti

2.1.1 Keasaman pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah kualitas yang penting untuk air bersih dan air buangan. Konsentrasi ion hidrogen biasanya disebut pH, yang diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen.

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

Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbah cair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya berada pada rentang antara 6.5 sampai 8.5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf & Eddy, 2003).

Untuk pH yang ada di industri roti adalah 6,5. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri roti, tingkat keasaman yang diperbolehkan berada pada ketentuan 6 – 9.

2.1.2 *Biological oxygen demand* (BOD)

Parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran organik pada air limbah dan air permukaan pada umumnya adalah BOD lima (5) hari (BOD₅). Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses oksidasi biokimia pada bahan organik. Pada umumnya, Hasil analisa BOD digunakan untuk:

1. Menentukan perkiraan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis.
2. Menentukan ukuran fasilitas pengolahan limbah
3. Menghitung efisiensi dari beberapa proses pengolahan

4. Menentukan pemenuhan izin pembuangan air limbah. Oleh karena itu, kemungkinan bahwa pengujian BOD₅ akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan-batasannya (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan BOD yang ada di industri roti adalah 1250 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri roti, BOD yang diperbolehkan adalah 85 mg/L.

2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi bahan organik dan juga anorganik dalam air atau air limbah, biasanya dinyatakan dalam mg/L (Tom D. Reynolds & Paul A. Richards, Unit Operation and Processes in Environmental Engineering).

Kandungan COD yang ada di industri terpadu adalah 2500 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri terpadu, BOD yang diperbolehkan adalah 150 mg/L.

2.1.3 Total Suspended Solid (TSS)

Limbah pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi/penyaringan.

Karena sebuah filter digunakan untuk memisahkan Total Suspended Solid (TSS) dari Total Dissolve Solid (TDS), kandungan TSS tersisihkan sering berubah, bergantung pada ukuran pori dari kertas saring yang digunakan pada proses pengujian. Jumlah TSS yang lebih akan teridentifikasi apabila menggunakan ukuran porositas kertas saring yang lebih kecil. TSS merupakan parameter universal yang digunakan untuk standar effluent (bersama dengan BOD) yang mana hasil dari pengolahan digunakan untuk proses pengontrolan (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan TSS yang ada di industri roti adalah 400 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri rot, TSS yang diperbolehkan adalah 80 mg/L.

2.1.4 Minyak dan Lemak

Istilah minyak dan lemak, seperti yang umum digunakan, termasuk lemak, minyak, dan lilin ditemukan dalam air limbah. Istilah lemak 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, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 98).

Kandungan minyak lemak yang ada di industri terpadu adalah 40 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri terpadu, TSS yang diperbolehkan adalah 15 mg/L.

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.1 Bangunan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Proses pengolahan awal ini merupakan proses pada awal pengolahan secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan

limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan untuk pre-treatment untuk kawasan industri meliputi:

a. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Saluran pembawa biasanya terbuat dari beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m).

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan Aliran (v) = 0,3-0,6 m/s
- Kemiringan / *Slope* = $1 \cdot 10^{-3}$ m/m
- Freeboard = 10 – 20%
- Dimensi Saluran (Ws) = $B = 2H$

Rumus yang Digunakan

1. Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q(m^3/detik)}{v(m/detik)} \quad (2.1)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa

Q = Debit Limbah ($m^3/detik$)

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

2. Kedalaman Saluran

$$H = \frac{A (m^2)}{B (m)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar saluran pembawa (m)

3. Ketinggian Total

$$H_{Total} = H + (20\% \times H) \quad (2.3)$$

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

Freeboard = Tinggi jagaan / Jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air = 20%

4. Cek Kecepatan

$$v = \frac{Q(m^3/detik)}{A(m)} \quad (2.4)$$

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

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

5. Jari – Jari Hidrolis

$$R = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)} \quad (2.5)$$

Keterangan :

R = Jari – Jari Hidrolis

H = ketinggian air dalam saluran pembawa

B = Lebar saluran Pembawa

6. Kemiringan (*Slope*)

$$s = \frac{n \times v}{(R)^3} \quad (2.6)$$

Keterangan :

s = kemiringan saluran / slope (m/m)

n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa

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

R = jari – jari Hidrolis

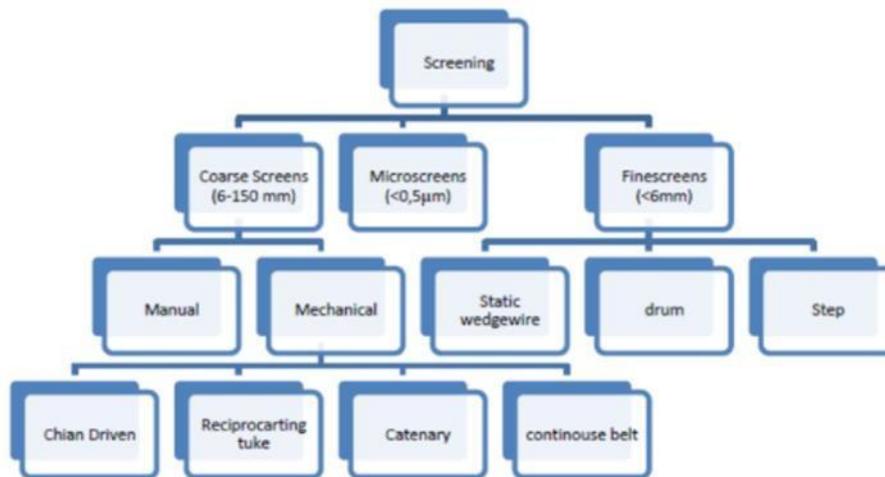
b. Screening (Penyaringan)

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alatnya. Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

1. Kerusakan pada alat Pengolahan
2. Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
3. Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe *screen*, diantaranya *coarse screen*, *fine screen* dan *microscreen*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari *effluent* (Metcalf & Eddy, 2003).

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 1 Bagan tipe screening

- *Coarse Screen*

Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan bar screen. *Screen* ini berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6-150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah–sampah lainnya. Dalam pengolahan air limbah, screen ini digunakan untuk melindungi pompa, *valve*, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Dalam proses pembersihannya, bar screen terbagi menjadi dua, yaitu secara manual maupun mekanik. Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 2 Manual bar screen



Gambar 2. 3 Mechanical Bar Screen

Tabel 2. 1 Kriteria perencanaan bar screen

Bagian – Bagian	Manual	Mekanik
Ukuran Kisi <ul style="list-style-type: none"> • Lebar • Dalam 	5 – 15 mm 25 – 38 mm	5 – 15 mm 25 – 38 mm
Jarak Antar Kisi	25 – 50 mm	15 – 75 mm
Kemiringan / <i>Slope</i>	30° - 40°	0° - 30°
Kecepatan saat melalui bar screen	0,3 – 0,6 m/s	0,6 - 1 m/s

Hilang Tekan / Headloss	150 mm	150 – 600 mm
-------------------------	--------	--------------

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition)

- *Fine Screen*

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan bar screen) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses trickling filter. Adapun ukuran padatan yang dapat disisihkan dalam proses penyaring halus (*Fine Screen*) adalah padatan yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2003).

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.

- *Micro Screen*

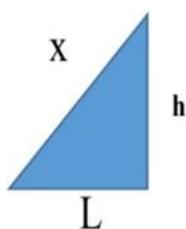
Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microscreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan *microscreen* tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan

kemiringan 60° terhadap horizontal.(Metcalf & Eddy,2003). Adapun faktor bentuk screen ada pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Faktor bentuk screen

Jenis bar	Faktor bentuk Screen (β)
Segi empat dengan sisi runcing	2,42
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83
Segi empat dengan sisi bulat	1,67
Bulat	1,79

(Sumber: Qasim, 1985)



Jenis screen yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah coarse screen dengan jenis pembersihan manual. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

1. Jumlah batang kisi (n)

$$Ws = n \times d + (n + 1) \times r \quad (2.7)$$

Keterangan:

Ws = Lebar Saluran (m)

r = Jarak antar kisi

n = Jumlah Batang (m)

d = Lebar Screen (m)

2. Lebar Bukaaan Kisi

$$Wc = ws - (n \times d) \quad (2.8)$$

Keterangan:

Wc = Lebar Bukaaan Kisi (m)

Ws = Lebar Saluran (m)

n = Jumlah Batang (m)

d = Lebar Screen (m)

3. Kecepatan pada bar screen

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{wc \times h} \quad (2.9)$$

4. Tinggi Kisi (h)

$$h = H + \text{freeboard} \quad (2.10)$$

Keterangan:

H = kedalaman saluran

5. Panjang Kisi (x)

$$x = \frac{h}{\sin a} \quad (2.11)$$

Keterangan:

a = Kemiringan Kisi ($45^\circ - 60^\circ$)

6. Jarak Kemiringan Kisi (L)

$$L = \cos a \cdot x \quad (2.12)$$

Keterangan:

a = Kemiringan Kisi ($45^\circ - 60^\circ$)

x = Panjang Kisi (m)

7. Headloss pada Bar screen (saat Clogging)

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \frac{V_{ic}^2 - V^2}{2 \times g} \quad (2.13)$$

Keterangan:

H_f = Headloss (m)

V_{ic} = Kecepatan melalui Kisi saat Clogging (V_i x 2) (m/detik)

v = Kecepatan sebelum melalui Kisi (m/detik)

C_c = koefisien headloss untuk bar screen saat clogging (0,6)

8. Headloss pada Bar screen (saat non Clogging)

$$H_f = \frac{1}{C} \times \frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g}$$

(2.14)

Keterangan:

H_f = Headloss (m)

V_i = kecepatan melalui kisi (m/detik)

v = Kecepatan sebelum melalui Kisi (m/detik)

C = koefisien headloss untuk clear bar screen (0,7)

(Sumber: *Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320*)

c. Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Kriteria Perencanaan:

- Kecepatan Aliran = 0,6 – 2,5 m/s
- Freeboard = 10 – 20%
- Waktu Detensi(td) = 24 jam

(Sumber: Qasim, 1999)

- Kedalaman = 4 meter

Rumus Perhitungan:

1. Bak Pengumpul (V)

$$V = Q \times td$$

(2.15)

Keterangan:

V = Volume Bak (m³)

Q = Debit Limbah (m³/detik)

td = Waktu Detensi

2. Ketinggian Total (H Toatal)

$$H \text{ total} = H \times (20\% \times H) \quad (2.16)$$

Keterangan:

H = Ketinggian air dalam bak (m)

Freeboard = tinggi jagaan / jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air = 20 %

3. Dimensi Bak Penampung

$$V = P \times L \times H \quad (2.17)$$

Keterangan:

V = Volume Bak (m³)

P = Panjang Bak (m), dengan 2 x L

L = Lebar bak (m)

H = Ketinggian bak (m)

2.2.2 Pengendapanan Pertama (*Primary settling*)

Jika di dalam pengolahan pendahuluan bertujuan untuk mensortir kerikil, lumpur, memisahkan lemak, maka pada pengolahan pertama bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan. (Sugiharto, 1987).

2.2.2.1 *Grease Trap*

Grease trap adalah alat perangkap grease atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun stainless steel sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

Grease trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang

dirancang untuk mencegah sebagian besar minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah (dicerna) dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun, jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Jenis Grease Trap

- A. Jenis paling umum adalah *grease trap* pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. Grease trap ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan lemak akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.
- B. Jenis yang paling umum kedua adalah tangki in-ground berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat/trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, lemak dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
- C. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices*/Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak/minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Perencanaan

a. Kecepatan Aliran = 2-6 m/jam

b. Waktu tinggal = 5- 20 menit

(Sumber : Buku Panduan Perencanaan Teknik terinci bangunan pengolahan lumpur tinja Ditjen Cipta karya)

Rumus yang Digunakan

a. Volume yang dibutuhkan = Debit Influen x Detik Detensi
(2.18)

b. Luas Area yang Dibutuhkan = $\frac{\text{Debit Influen}}{\text{Kecepatan Aliran}}$
(2.19)

c. Panjang Kompartemen
Panjang Kompartemen 1 = $\frac{2}{3}P$
(2.20)

Panjang Kompartemen 2 = $\frac{1}{3}P$
(2.21)

$A = P \times L$
(2.22)

Check Kecepatan Aliran $v = \frac{\text{Debit Influen}}{\text{Luas Permukaan}}$
(2.23)

d. Kedalaman Tangki
Kedalaman Aktif = 0,5 m
Tinggi Area Pengendapan = 0,3 m
Kedalaman Scum = 0,2 m
Freeboard = 0,3 m
Tinggi total = 1,3 m

e. Efisiensi Pengolahan
Konsentrasi Minyak Lemak dalam effluenn
 $(1 - \text{efisiensi}) \times \text{Konsentrasi Minyak}$
(2.24)

f. Dimensi Pipa
 $A = \frac{Q}{V}$

(2.25)

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

(2.26)

g. Headloss Grease Trap

$$R = \frac{BH}{B + H}$$

(2.27)

$$S = \left(\frac{nv}{2}\right)^2 \frac{1}{R^3}$$

(2.28)

$$H_f = s \times L$$

(2.29)

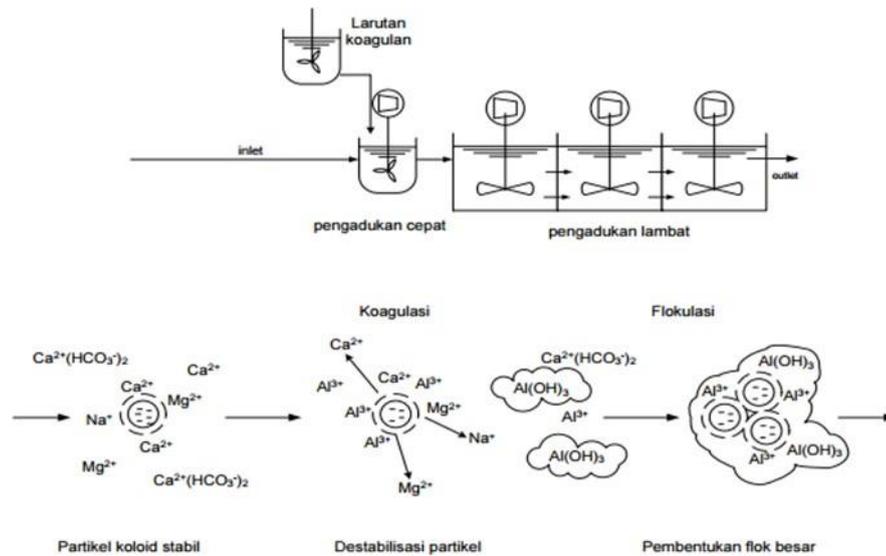
2.2.3 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

Pada proses ini terjadi proses fisik dan kimia. Proses fisik dapat berupa pengendapan pertama untuk memisahkan padatan tersuspensi. Untuk proses kimia digunakan netralisasi untuk menetralkan pH dan koagulasi-flokulasi untuk memisahkan padatan terlarut. Pada perencanaan bangunan pengolahan air buangan industri pengolahan minyak bumi pengolahan primary treatment yang digunakan adalah proses flotasi karena air limbahnya mengandung minyak.

A. Koagulasi - Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

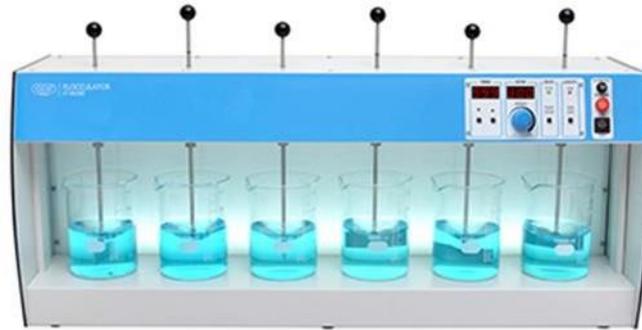
Setelah inti flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.



Gambar 2. 4 Gambaran proses koagulasi-fokulasi

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

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2. 5 Alat jar test

- Jenis Pengadukan

Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Sedangkan berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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^{-1}) selama 5 hingga 60 detik atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.

Untuk Proses Koagulasi – Flokulasi:

- Waktu detensi = 20 – 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Untuk Penurunan Kesadahan

- Waktu detensi = 20 – 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Untuk Presipitasi kimia (Penurunan fosfat, logam berat, dan lain- lain)

- Waktu detensi = 0,5 – 6 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan Cepat dengan tiga cara yaitu:

1. Pengadukan Mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan Pneumatis

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 detik^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut:

Untuk Air Sungai:

- Waktu Detensi = Minimum 20 menit
- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

Untuk air Waduk:

- Waktu detensi = 30 Menit
- $G = 10 - 75 \text{ detik}^{-1}$

Untuk air keruh:

- Waktu dan G lebih rendah
- G tidak lebih dari 50 detik^{-1}

Untuk Flokulator:

- G Kompartemen 1: Nilai terbesar
- G Kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
- G Kompartemen 3: Nilai Terkecil

Untuk Penurunan Kesadahan (Kapur/Soda):

- Waktu detensi = Minimum 30 menit
- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

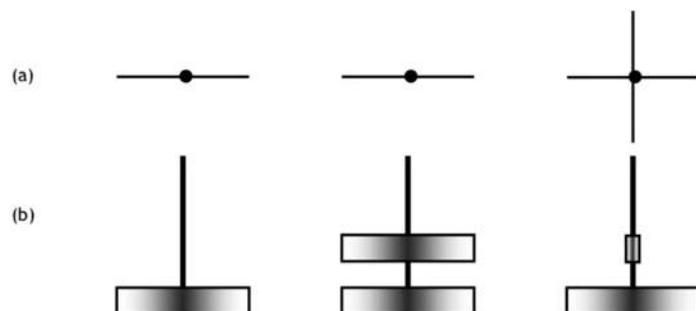
Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 15 – 30 menit
- $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
- $GTd = 10.000 - 100.000$

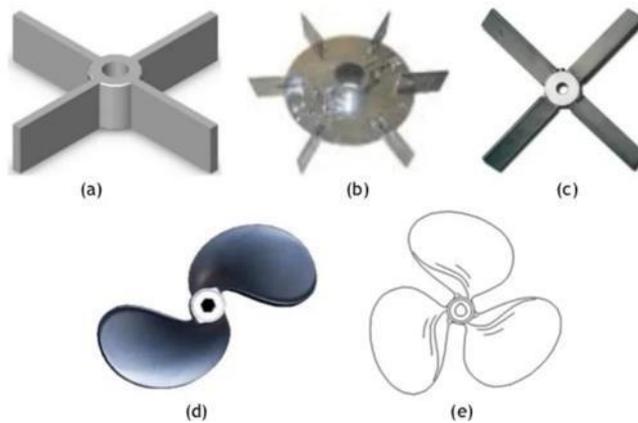
Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

1. Pengadukan Mekanis
 2. Pengadukan Hidrolis
3. 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 2.6 dan gambar 2.7.

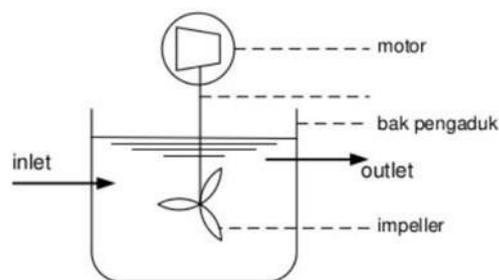


Gambar 2. 6 Tipe paddle (a) tampak atas, (b) tampak samping



Gambar 2. 7 Tipe turbine dan propeller : (a) turbine blade lurus. (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbine dengan blade menyerong, (d) propeller 2 blades, (e) propeller 3 blade

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan t_d . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II dan G di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2. 8 Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

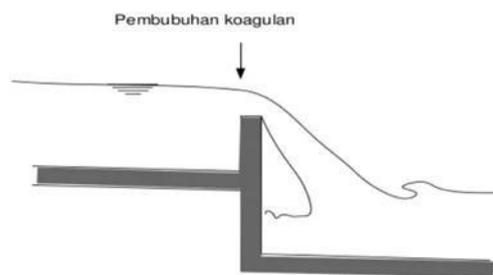
4. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari

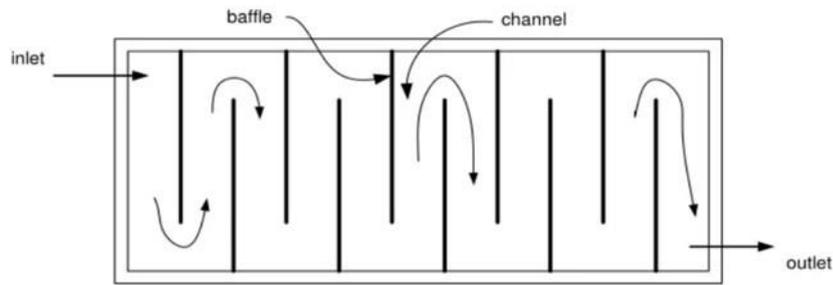
energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan parshall flume (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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



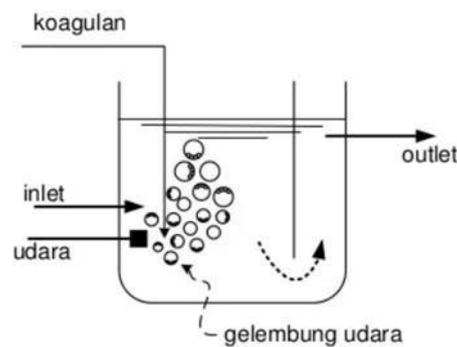
Gambar 2. 9 Pengadukan cepat dengan terjunan



Gambar 2. 10 Pengadukan lambat dengan *baffle channel*

5. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

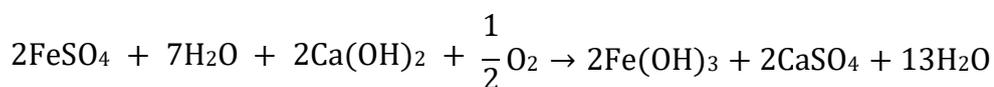


Gambar 2. 11 Pengadukan cepat secara pneumatis

- **Koagulan**

Pada perencanaan ini menggunakan koagulan Ferrous Sulfate (FeSO_4) karena koagulan Ferrous Sulfate (FeSO_4) dapat bekerja di pH basa dan dapat sekaligus meremoval Cr (mengubah valensi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+}).

Secara komersial ferro sulfat diproduksi dalam bentuk kristal berwarna hijau atau butiran (granular) untuk pembubuhan kering dengan kandungan (FeSO_4) kira-kira 55%. Ferro sulfat bereaksi dengan alkalinitas alami tetapi dibanding reaksi antara alum dengan HCO_3^{3+} lebih lambat. Biasanya digunakan bersama-sama dengan kapur untuk menaikkan pH, sehingga ion ferro terendapkan dalam bentuk ferri hidroksida, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ferrous sulfat ini kurang sesuai untuk menghilangkan warna, akan tetapi akan sangat baik untuk pengolahan air yang mempunyai alkalinitas dan kekeruhan dan DO yang tinggi. Kondisi pH yang sesuai yakni antara 9,0-11,0. Reaksinya adalah sebagai berikut:

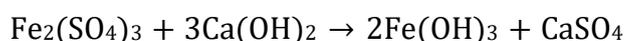
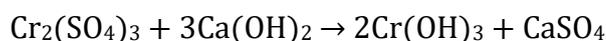


Proses ini biasanya lebih murah dibandingkan dengan alum, tetapi penggunaan dua macam bahan prosesnya lebih sulit dan pengolahan air dengan menggunakan ferro sulfat dan kapur akan dapat memperbesar kesadahan air (Nusa Idaman Said, 2017).

Pereduksian Cr dari Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} menggunakan ferro sulfat menghasilkan reaksi sebagai berikut:



Setelah pereaksian tersebut, ditambahkan kapur untuk mengendapkan Cr^{3+} dalam bentuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Reaksi pada pengendapan dengan kapur adalah sebagai berikut:



(Nusa Idaman Said, 2017)

- **Koagulan Pembantu**

Pada saat kekeruhan air baku tinggi, misalnya setelah hujan, pada saat musim dingin, ataupun pada saat permintaan produksi meningkat, pemakaian zat koagulan sajas sering kali tidak cukup untuk menghasilkan flok yang baik.

Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah koagulan pembantu agar pembentukan flok berjalan dengan baik.

Pemilihan jenis zat koagulan pembantu harus dapat menghasilkan flok yang baik/stabil dan tidak berbahaya ditinjau dari segi kesehatan. Disamping itu juga harus ekonomis serta pengerjaannya mudah. Sebagai bahan koagulan pembantu yang sering dipakai yaitu silika aktif dan natrium alginat (*sodium alginic acid*).

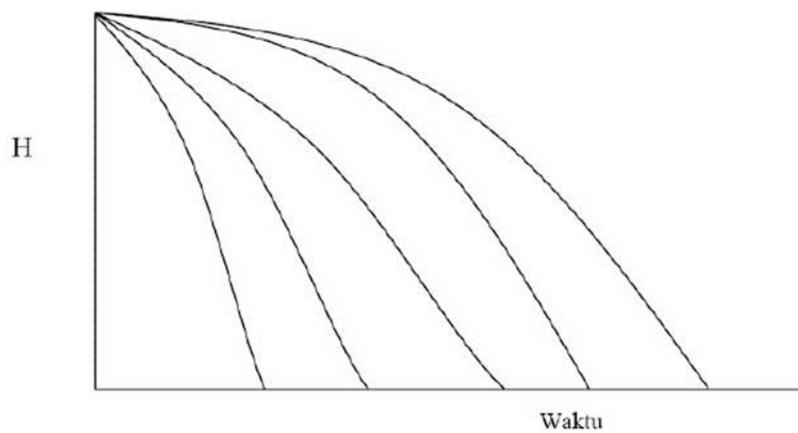
Dosis koagulan pembantu harus ditentukan dengan pertimbangan bahwa pada keadaan biasa/normal dosis silika aktif adalah 1-5 ppm sebagai SiO₂ dan untuk natrium alginat adalah 0,2-2 ppm (Nusa Idaman Said, 2017).

B. Bak Pengendap I

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan coloumn settling test dan withdrawal ports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval.

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besar penyisihan total pada waktu tertentu. Tarik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tentukan kedalaman H₁, H₂ dst (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2. 12 Grafik isoremoval

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan *surface loading* atau *overflow rate* bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

Kedua grafik ini dapat digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (t_d) dan *overflow rate* (V_0) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen (*batch*). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinyu). Setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi, faktor scale up yang digunakan pada umumnya 1,75, untuk *overflow rate*, faktor scale up yang digunakan biasanya 0,65 (Tom D. Reynolds, Paul A. Richards, 1996).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin
2. Suhu udara permukaan
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
4. Suhu terstratifikasi dari iklim.
5. Bilangan Eddy

Kriteria Perencanaan :

Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

- Kedalaman (H) = 3 – 4,9 m
- Panjang Bak (L) = 15 90 m
- Lebar Bak (B) = 3 – 24 m
- Kecepatan Putaran = 0,6 – 1,2 m/menit
- Faktor Porositas = 0,02 – 0,12 ; 0,05 - 0,12
- Waktu detensi = 1,5 – 2,5 jam
- *Overflow rate* = 30 – 50 m³/m². hari (*average*)
= 80 – 120 m³/m². hari (*peak*)
- *Weir loading rate* = 125 – 500 m³/m . hari
(*Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Edition hal 398*)
- Bilangan Reynold (Nre) untuk Vh = < 2000 (laminer)
- Bilangan Reynold (Nre) untuk Vs = < 1 (laminer)
- Bilangan Froude (Nfr) > 10⁻⁵
- Kemiringan *Plate Settler* = 45° – 60°
(*Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Editionhal 375*)
- Syarat terjadi pengendapan = waktu pengendapan (tp) < waktu detensi(td)
- Syarat terjadi penggerusan = kec. Scouring (vsc) > kec. Horizontal (vh)
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- *Specific gravity (sg)* = 1,03
- Kontrol pengerusan (scouring) β = 0,02–0,12; λ= 0,03

Zona Lumpur

- Berat jenis air (ρw) = 995,7 kg/m³
- Berat jenis suspended solid (ρss)= 2650 kg/m³
- Kadar air dalam lumpur = 95%
- Kadar padatan dalam lumpur = 5%
- Ruang lumpur berbentuk limas terpancung

Rumus yang digunakan:

1. Dimensi Bak Sedimentasi

$$V = Q \times td \tag{2.30}$$

$$V = L \times B \times H \tag{2.31}$$

Keterangan:

- V = Volume bak (m³)
- Q = debit limbah dari flokulasi (m³ /s)
- td = waktu detensi (s)
- L = panjang bak (m)
- B = lebar bak (m)
- H = kedalaman bak (m)

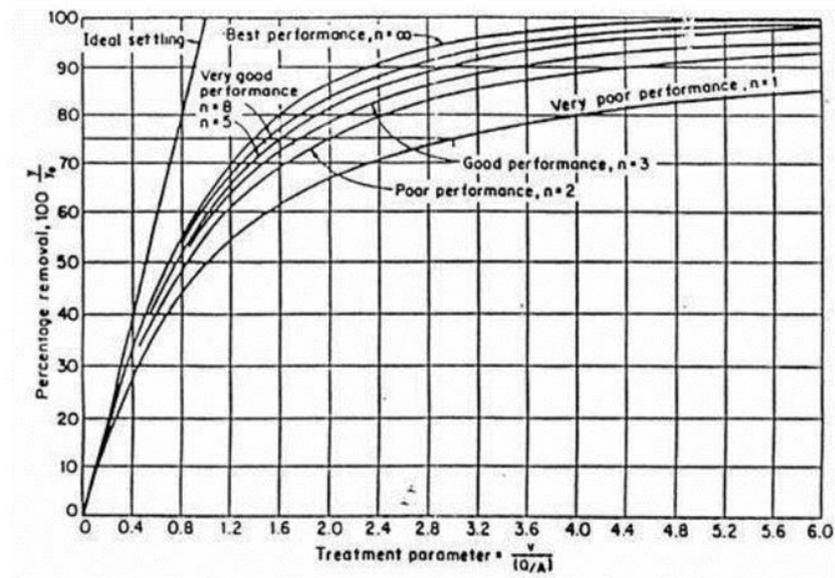
2. Cek waktu detensi

$$td = \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Debit (Q)}} \tag{2.32}$$

Keterangan:

- V = volume bak (m³)
- Q = debit limbah (m³/s)

3. Kecepatan Pengendapan



Gambar 2. 13 Grafik good performance

Menggunakan grafik good performance, berdasarkan persen removal
Diperoleh untuk nilai v (Q/A)

4. Kecepatan horizontal (v_h)

$$v_h = \frac{L}{t_d} \quad (2.33)$$

Keterangan:

t_d = Waktu detensi (s)

L = Panjang Bak (m)

5. Cek bilangan reynolds

$$Nre = \frac{v_h \times R}{\nu} \quad (2.34)$$

Keterangan:

v_h = kecepatan horizontal (m/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

ν = viskositas kinematis (m^2/s)

6. Diameter Partikel

$$D_p = \frac{\sqrt{V_s \cdot 18 \cdot \nu}}{g (sg - 1)} \quad (2.35)$$

Keterangan:

v_s = kecepatan pengeendapan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ν = viskositas kinematis (m^2/s)

sg = *specific gravity*

7. Massa jenis partikel

$$p_s = sg \times p$$

(2.36)

Keterangan:

Sg = *specific gravity*

p = massa jenis air (kg/m^3)

8. Nre pengendapan partikel

$$Nre = \frac{ps \times d \times vs}{\mu} \quad (2.37)$$

Keterangan:

ps = massa jenis partikel (kg/m³)

vs = kecepatan pengendapan (m/s)

dp = diameter partikel (m)

μ = viskositas absolut (N.detik/m²)

9. Bilangan Froude

$$Nfr = \frac{vh}{\sqrt{g \times h}} \quad (2.38)$$

Keterangan:

vh = kecepatan horizontal (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman bak (m)

10. Kecepatan penggerusan atau scouring

$$vsc = \frac{\sqrt{8 \times \beta \times g \times dp (sg - 1)}}{\lambda} \quad (2.39)$$

Keterangan:

λ, β = kontrol Penggerusan

g = percepatan gravitasi (m/s²)

sg = *specific gravity*

dp = diameter partikel (m)

11. Luas tiap lubang perforated baffle

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2.40)$$

Keterangan:

D = diameter lubang perforated (m)

12. TSS yang teremoval

$$\text{TSS teremoval} = \% \text{removal} \times \text{kadar TSS awal} \quad (2.41)$$

13. Lumpur yang dihasilkan

$$\text{Lumpur dihasilkan} = Q \text{ limbah} \times \text{TSS teremoval} \quad (2.42)$$

14. Berat air yang dihasilkan

$$\text{berat air} = \left(\frac{\text{Kadar air dalam lumpur}}{\text{Kadar padatan dalam lumpur}} \right) \times \text{lumpur yang dihasilkan} \quad (2.43)$$

15. Berat Jenis lumpur

$$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%) \quad (2.45)$$

16. Debit Lumpur

$$Q_{\text{sludge}} = \left(\frac{\text{lumpur yang dihasilkan} \times \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur}} \right) \quad (2.46)$$

17. Volume Lumpur

$$V_{\text{sludge}} = Q_{\text{sludge}} \times \text{periode pengurasan} \quad (2.47)$$

18. Volume zona lumpur

$$v = \frac{1}{3} \times H \times (A + A' + \sqrt{A \times A'}) \quad (2.48)$$

Keterangan:

H = ketinggian zona lumpur

A = luas permukaan atas zona lumpur

A' = luas permukaan dasar zona lumpur

19. Debit pipa penguras lumpur

$$Q_p = \left(\frac{\text{Volume lumpur}}{\text{Waktu Pengurasan}} \right) \quad (2.49)$$

20. Diameter pipa penguras lumpur

$$D = \sqrt{\frac{A \times Q}{\pi \times v}}$$

(2.50)

2.2.4 Pengolahan Sekunder (*Secondary treatment*)

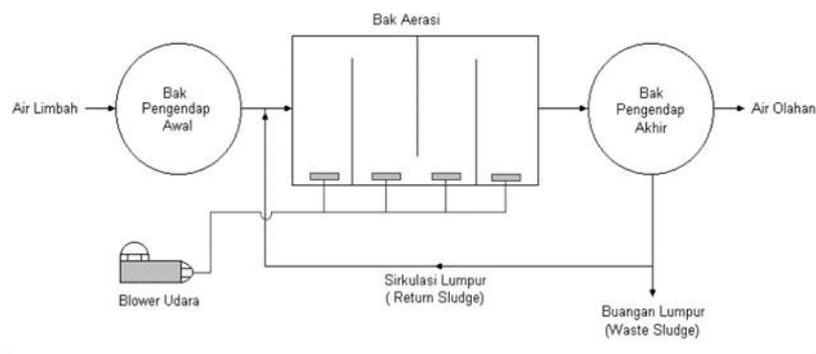
Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik.

A. Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal ini menurunkan kandungan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotof. Sumber energy berasal dari oksidasi senyawa organik. BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut substrat. Adapun tipe-tipe activated sludge sebagai berikut :

1) Konvensional

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



Gambar 2. 14 Diagram proses pengolahan air limbah dengan activated sludge sistem konvensional

2. Non Konvensional

- Step Aeration

- Merupakan tipe plug flow dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet.
- Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditanki aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal.
- Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.
- *Contact Stabilization*
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 mengasorb (proses stabilisasi).
- *Pure Oxygen*
Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.
- *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.
- *Extended Aeration*
Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.
- *Oxydation Ditch*
Bentuk *oxidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s.

Adapun parameter penting untuk desain *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 resikular (R)

Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.

➤ Konsentrasi BOD yang masuk tangki aerasi

➤ Waktu detensi (td)

td adalah lama waktu tinggal air limbah dalam tangki aerasi

Rumus yang digunakan:

1. Perhitungan X_r

$$SVI = \frac{\text{Volume } \left(\frac{m}{L} \right) \times 1000 \text{ } mg/l}{\text{suspended solid } \left(\frac{m}{l} \right)}$$

(2.51)

Keterangan:

SVI = didapat pada uji laboratorium (perhitungan Metcalf & Eddy, 685)

X_r = konsentrasi biomassa yang di kembalikan ke clarifier (mg/l)

2. BOD teremoval

$$\text{BOD yang teremoval} = C_o \times \% \text{removal}$$

(2.52)

Keterangan:

C_o = jumlah BOD influent (kg/m^3)

3. BOD yang lolos

$$C_r = C_o - \text{BOD teremoval}$$

(2.53)

Keterangan:

C_o = jumlah BOD influent (kg/m^3)

4. Kadar MVLSS

$$MLVSS = 0,7 \times MLSS \quad (2.54)$$

Keterangan:

MLVSS = Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (kg/m³)

MLSS = Mixed Liquor Suspended Solid (kg/m³)

5. Debit Resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R \quad (2.55)$$

Keterangan:

Q_o = debit awal / debit influent (m³/hari)

R = rasio resirkulasi

6. Debit yang masuk ke AS / debit total

$$Q_a = Q_o + Q_r \quad (2.56)$$

Keterangan:

Q_o = debit awal / debit influent (m³/hari)

Q_r = debit resirkulasi

7. Volume Bak As

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q_a \cdot (C_a - C_r)}{x \cdot (1 + (K_d \cdot \theta_c))} \quad (2.57)$$

Keterangan:

C_r = BOD yang lolos (kg/m³)

C_a = konsentrasi BOD dalam bak AS (kg/m³)

Y = *biomass yield* pada suhu 30°C

θ_c = umur lumpur (hari)

K_d = Endogeneous Decay Coefficient pada suhu 30°C

Q_a = debit yang masuk ke AS / debit total (m³/hari)

X = MLSS (kg/m³)

8. Konsentrasi BOD yang masuk dalam AS

$$V = \frac{(C_o - Q_o) + (C_r - Q_r)}{Q_o + Q_r} \quad (2.58)$$

Keterangan:

- C_o = jumlah BOD influent (kg/m^3)
- Q_o = debit awal / debit influent (m^3/hari)
- Q_r = debit resirkulasi (m^3/hari)
- C_r = BOD yang lolos (kg/m^3)

9. Dimensi Bak AS

$$V = L \times B \times H \quad (2.59)$$

Keterangan:

- V = volume bak (m^3)
- L = panjang bak (m)
- B = lebar bak (m)
- H = kedalaman bak (m)

10. Jari – jari hidrolis bak AS

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \quad (2.60)$$

Keterangan:

- B = Lebar bak
- H = Kedalaman bak

11. Kuantitas lumpur yang dihasilkan tiap hari (γ_{obs})

$$\gamma_{\text{obs}} = \frac{y}{1 + K_d \times \theta_c} \quad (2.61)$$

Keterangan:

- Y = *biomass yield* pada suhu 30°C
- θ_c = umur lumpur (hari)
- K_d = Endogeneous Decay Coeffisient pada suhu 30°C

12. Produksi Lumpur

$$P_x (\text{MLVSS}) = \gamma_{\text{obs}} \times Q_a \times (C_a - C_r) \quad (2.62)$$

Keterangan:

- γ_{obs} = kuantitas lumpur yang dihasilkan tiap hari
- C_r = BOD yang lolos (kg/m^3)
- C_a = konsentrasi BOD dalam bak AS (kg/m^3)
- Q_a = debit yang masuk ke AS / debit total (m^3/hari)

13. Debit Lumpur

$$Q_s = \frac{P_x}{x} \quad (2.63)$$

Keterangan:

- P_x = produksi lumpur (kg/hari)
- X = MLSS (kg/m^3)

14. Kontrol F/M rasio

$$F/M = \frac{Q_a \times C_a}{V \times X} \quad (2.64)$$

Keterangan:

- C_a = konsentrasi BOD dalam bak AS (kg/m^3)
- Q_a = debit yang masuk ke AS / debit total (m^3/hari)
- X = MLSS (kg/m^3)
- V = volume bak (m^3)

15. Kebutuhan oksigen

$$\text{Keb. } O_2 = \frac{1,46 \times Q_a \times (C_o - C_r)}{10^3} \quad (2.65)$$

Keterangan:

- Q_a = debit yang masuk ke AS / debit total (m^3/hari)
- C_r = BOD yang lolos (kg/m^3)
- C_o = jumlah BOD influent (kg/m^3)

16. Volume udara yang dibutuhkan

$$\text{Keb. udara teoritis} = \frac{\text{Keb. } O_2 \text{ total}}{p \text{ udara} \times \%O_2}$$

$$\text{Keb. udara actual} = \frac{\text{Keb. } O_2 \text{ teoritis}}{\text{efisiensi transfer } O_2}$$

$$\text{Keb. udara design} = \text{keb. udara actual} \times \text{safety factor} \quad (2.66)$$

17. Transfer O_2 di lapangan

$$N = N_o \left[\frac{\beta \times C_w - C_l}{9,17} \right] \times 1,024^{T-20} \times a \quad (2.67)$$

Keterangan:

N = Kg O_2 /Kw.jam transfer di bawah kondisi lapangan

N_o = Kg O_2 /Kw.jam transfer di bawah kondisi standart
(Nilai N_o = 1,5)

β = Faktor koreksi *salinity surface* = 1

C_w = Konsentrasi O_2 jenuh = 8,16 mg/liter

C_l = Konsentrasi O_2 operasi = 2 mg/liter

T = Temperatur ($^{\circ}C$)

a = Faktor koreksi O_2 transfer = 0,8 – 0,85

18. Tenaga Aerator

$$P = \frac{\text{Keb. } O_2 \text{ total}}{\text{transfer } O_2 \text{ di lapangan}} \quad (2.68)$$

19. Jumlah aerator

$$n = \frac{\text{Keb. } O_2 \text{ total}}{\text{Kapasitas Aerator}} \quad (2.69)$$

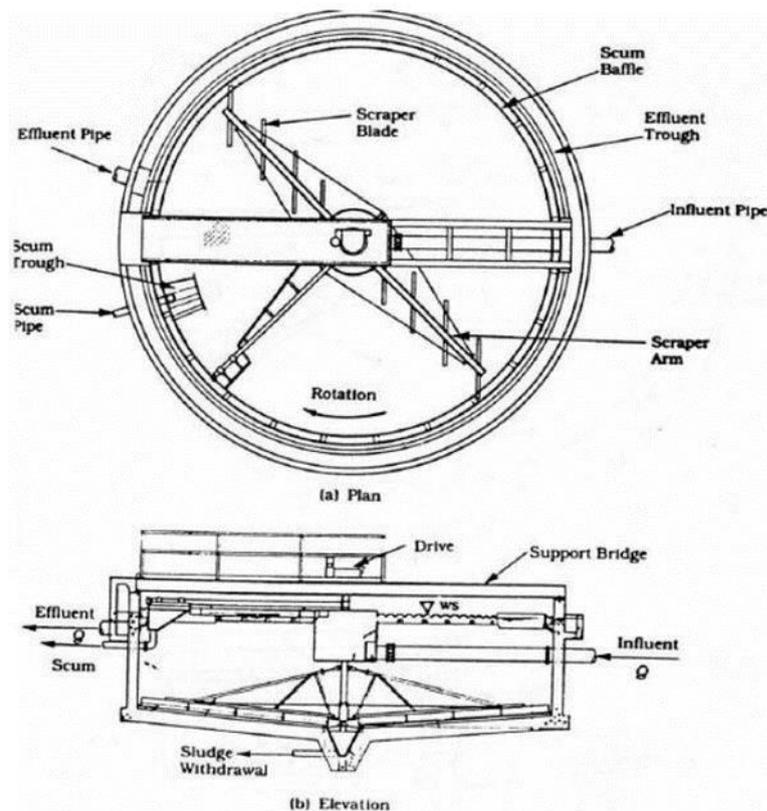
B. Bak Pengendap II (*Clarifier*)

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 *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk vee (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing-masing vee dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat ditengah 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).



Gambar 2. 15 Denah dan potongan clarifier

Kriteria Perencanaan:

- Diameter Tangki (d) = 3 – 60 m
- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam
- *Overflow rate (average flow)* = 24 – 32 m³/m².hari
- *Weir loading rate (WLR)* = 125 – 500 m³/hari
(Sumber: Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 398)
- Diameter *inlet wall* = 15 - 20% diameter tangki
(Sumber: Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 401)
- Kedalaman tangki (H) = 3,5 – 6 m
(Sumber: Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 687)
- Bilangan reynold untuk Vs < 1(laminer)
- Bilangan reynold untuk Vh < 2000 (laminer)
- Bilangan freude untuk (Nfr) > 10⁻⁵
- Specific grafitiy solids = 1,3

Rumus yang digunakan:

Zona settling

1. Volume bak

$$V = Q \times t_d$$

(2.70)

2. Luas permukaan bak

$$A = \frac{Q}{\text{Overflow rate}}$$

(2.71)

Keterangan:

Q = debit masuk ke clarifier (m³/s)

3. Diameter bak

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

(2.72)

Diameter Inlet Wall

$$D_{iw} = 20\% \times \text{diameter bak}$$

(2.73)

Keterangan:

A = luas permukaan bak (m²)

4. Cek Waktu detensi

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

(2.74)

Keterangan:

Q = debit masuk clarifier (m³/s)

V = Volume Bak (m³)

5. Kecepatan Pengendapan

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

(2.75)

Zona Thickening

1. MLVSS dalam clarifier

MLVSS_{AS} = P x MLVSS total

MLVSS clarifier = MLVSS total – MLVSS_{AS}

(2.76)

Keterangan:

P = persentase biological tetap dalam bak AS

MLVSS = dari bak AS (kg/m³)

2. Massa solid pada clarifier

M solid = MLVSS clarifier x Volume bak clarifier

(2.77)

3. Kedalaman zona *thickening*

$$H = \frac{M \text{ solid}}{X \times A} \quad (2.78)$$

Keterangan:

X = MLSS pada AS (kg/m³)

A = Luas Permukaan bak (m²)

Zona Sludge

1. Total Lumpur

$$T_s = P \times \text{mlss} \times \text{waktu pengurasan}$$

(2.79)

2. Total massa lumpur pada bak

$$T_{ms} = T_s + M \text{ solid}$$

(2.80)

Keterangan:

M solid = massa solid pada clarifier (kg)

3. Volume Lumpur

$$V_s = \frac{T_s}{P_s}$$

(2.81)

Keterangan:

T_s = Total lumpur (kg)

P_s = massa jenis lumpur (kg/m³)

4. Tinggi ruang lumpur

$$V_s = 1/3 \times H \times (A + A' + \sqrt{A \times A'})$$

(2.82)

Keterangan:

V_s = volume lumpur (m³)

H = tinggi ruang lumpur (H)

A = luas permukaan atas (m²)

A' = luas permukaan dasar (m²)

Zona Outlet

1. Panjang keliling weir

$$L_{weir} = \pi \times D_{bak} \quad (2.83)$$

2. Jumlah v-notch

$$N = \frac{L_{weir}}{\text{Jarak antar } v\text{-notch}} \quad (2.84)$$

3. Tinggi air melalui v – notch

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{8}{15} \times cd \times \sqrt{2 \times g} \times tg \frac{\theta}{2} \times H \frac{5}{2} \quad (2.85)$$

4. Panjang basah tiap pelimpah

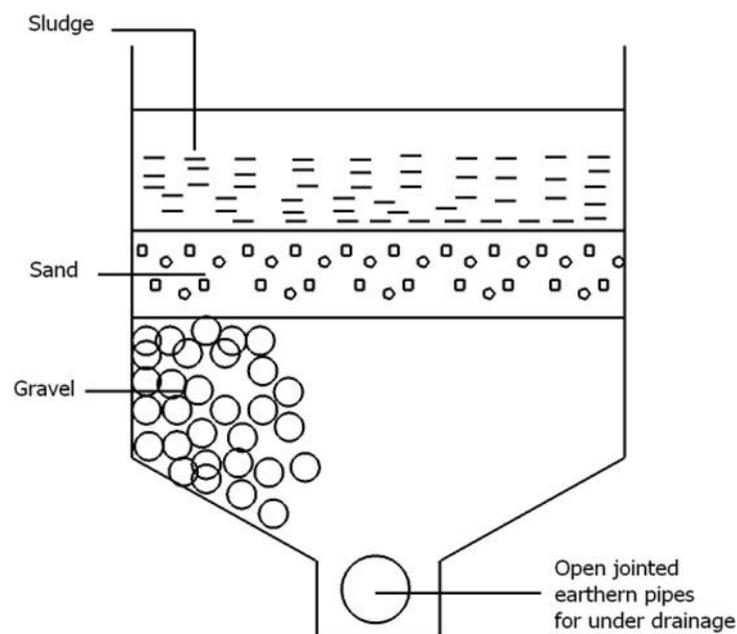
$$L_i = \frac{2 \times H}{tg \frac{\theta}{2}} \quad (2.86)$$

2.2.5 Pengolahan Lumpur

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / sludge diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam sludge drying bed terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari sludge drying bed diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. Sludge drying bed pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada sludge drying bed. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu

yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur/sludge ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki effective size antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 16 Sludge Drying Bed

Kriteria Perencanaan:

- Ketebalan lapisan lumpur (cake) = 200 – 300 mm
- Ketebalan lapisan pasir halus = 150 mm
- Ketebalan lapisan pasir kasar = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil halus = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil halus = 75 mm
- Ketebalan lapisan kerikil kasar = 75 – 150 mm → 100 mm
- Waktu pengeringan lumpur = 10 – 15 hari

- Kadar air (P) = 60%
- Kadar solid pada lumpur = 40%

(Sumber: Metcalf& Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 1570)

Rumus yang digunakan:

1. Volume cake sludge

$$V_i = \frac{\text{Vol lumpur } (1 - P)}{1 - P_i} \quad (2.87)$$

Keterangan:

Vol.lumpur = volume lumpur total (m³)

P = kadar air (%)

P_i = berat air dalam cake (%)

2. Volume sludge drying bed

$$V = V_i \times t_d$$

(2.88)

Keterangan:

V_i = volume cake sludge (m³) per hari

T_d = waktu pengurasan lumpur (hari)

Volume tiap bak

$$V_b = \frac{V}{\text{Jumlah bak}} \quad (2.89)$$

3. Luas Permukaan

$$A = \frac{V_b}{\text{Tebal cake}} \quad (2.90)$$

4. Dimensi Bak

$$A = B \times L$$

(2.91)

Keterangan:

B = lebar bak (m)

L = lebar bak (m)

5. Volume cair

$$V_a = \frac{V \text{ lumpur} - V_i}{\text{jumlah bed}} \times t d \quad (2.92)$$

6. Kedalaman underdrain

$$H = \frac{V_a}{B \times H} \quad (2.93)$$

7. Kedalaman Total

$$H \text{ total} = \text{tebal cake} + \text{tebal media} + \text{freeboard} + H \text{ underdrain} \quad (2.94)$$

2.3 Persen removal

Tabel 2. 3 Persen removal tiap bangunan pengolahan

Unit	Beban pencemar	Range kemampuan penyisihan	Sumber literatur
Saluran pembawa dan bar screen	-	-	-
Bak pengumpul	-	-	-
Grease Trap	Minyak Lemak	80%	Kementrian PUPR, Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Limbah Tinja, hal 25
Koagulasi	-	-	-
Flokulasi	-	-	-
Bak pengendap 1 (Sedimentasi)	TSS	50 – 70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th edition, 2003, page 396
Activated Sludge	BOD	80 – 99%	Cavaseno, Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering, page 15
	COD	50 – 95%	
Bak pengendap 2 (Clarifier)	TSS	30 – 95%	
	BOD	25 – 40%	

	COD	25 – 40%	Enckefeller Jr, Industrial Water Pollution Control 3nd edition, page 451
Sludge drying bed	Total padatan sebesar 60% dalam 15 hari		Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy

2.4 Profil hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing – masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini. Profil Hidrolis IPAL adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydrolic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan [influent-effluent] dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi 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.