

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah

Setiap industri dan jenis bangunan memiliki karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) yang mempunyai karakteristik limbah domestik, menurut Baku Mutu Air Limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013, sebagai berikut :

2.1.1 Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah jumlah *Total Solids* (TS) yang tertahan pada sebuah filter dengan ukuran pori tertentu, yang diukur setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling umum digunakan untuk pengukuran TSS yaitu *Whatman glass fiber filter* dengan ukuran pori 1,58 µm. Sedangkan TS sendiri adalah residu yang tersisa setelah air limbah diuapkan dan dikeringkan dengan suhu tertentu (103–105°C). (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan TSS pada air limbah IPLT ini adalah 170 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L. TSS merupakan penyebab utama kekeruhan air yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi di dalam air yang dapat mengganggu penyerapan cahaya matahari ke dalam air. Kekeruhan akan menghambat penembusan sinar matahari yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. TSS meliputi seluruh padatan yang terdapat dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik

2.1.2 Derajat Keasaman (pH)

pH adalah derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasahan yang dimiliki oleh suatu larutan, yang dimaksudkan "keasaman" di sini adalah konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam pelarut air. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai pH =7. Nilai pH >7 menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai pH <7 menunjukkan keasaman.

Nama pH berasal dari *potential of hydrogen*. Secara matematis, pH didefinisikan dengan $H = -\log_{10}^{[H^+]}$. Kebanyakan mikroorganisme dapat hidup pada pH antara 6-9. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit atau konduktivitas suatu larutan. Untuk pH yang sesuai standart baku mutu dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 tahun 2017 berkisar antara 6,5 - 8,5. Sedangkan pada air baku yang digunakan pH air sumur adalah 11.

2.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai/limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan COD pada air limbah IPLT ini adalah 1162 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L.

2.1.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram/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 20° C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5. (Sugiharto, dasar Pengelolaan Air Limbah, hal.6). Kandungan BOD5 air buangan Industri pabrik gula adalah 448.6 mg/l, sedangkan

baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD5 yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 30 mg/l.

2.1.5 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak sebenarnya mirip, minyak dan lemak merupakan bahan (*ester*) dari alkohol atau gliserol (*gliserin*) dengan asam lemak. Gliseride asam lemak yang cair dan temperaturnya normal merupakan minyak, sedangkan yang padat merupakan 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).

Kandungan minyak dan lemak pada air limbah IPLT ini adalah 7.97 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan minyak dan lemak yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 10 mg/L. Minyak dan lemak merupakan campuran gliserida dengan susunan asam-asam lemak yang tidak sama. Sifat-sifat fisik dan kimia trigliserida ditentukan oleh asam lemak penyusunnya, karena asam lemak merupakan bagian terbesar berat molekul minyak.

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.2.1 Solid Separation Chamber (SSC)

Prinsip kerja Solid Separation Chamber sangat sederhana karena hanya mengandalkan proses fisik untuk pemisahan padatan dari lumpur tinja. Setelah pemisahan, dilakukan penyinaran memanfaatkan sinar matahari sebagai desinfeksi serta angin untuk pengurangan kelembaban atau pengeringan. Solid Separation Chamber berfungsi untuk memisahkan padatan dan cairan dari air limbah domestik. Lumpur tinja yang dihamparkan secara merata di atas media SSC akan mengalami pemisahan antara padatan di bagian bawah dan cairan di bagian atas. Sebagian cairan dapat terpisah dari lumpur tinja melalui proses infiltrasi pada media SSC, selanjutnya cairan yang telah terpisah diolah lebih lanjut pada unit stabilisasi yang terdapat dalam IPLT. Sementara padatan yang telah mengalami penirisan dikeringkan lebih lanjut di unit pengeringan lumpur.

Unit SSC sendiri memiliki efisiensi penyisihan pada beberapa parameter. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat (2018), unit SSC dapat meremoval diantaranya: 20% BOD, 17% COD, dan 40% TSS. Sedangkan menurut Dian & Herumurti (2016), unit SSC dapat meremoval diantaranya: 40% BOD, 40% COD, dan 90% TSS. Berdasarkan Wulandari & Herumurti (2017), unit SSC memiliki kemampuan dalam menyisihkan beban organik dan TSS dikarenakan proses filtrasi yang terjadi oleh media filter (pasir dan kerikil). Perencanaan *Solid Separation Chamber* dapat dilaksanakan dengan menggunakan kriteria desain berikut:

Tabel 2.1 Kriteria *Solid Separation Chamber*

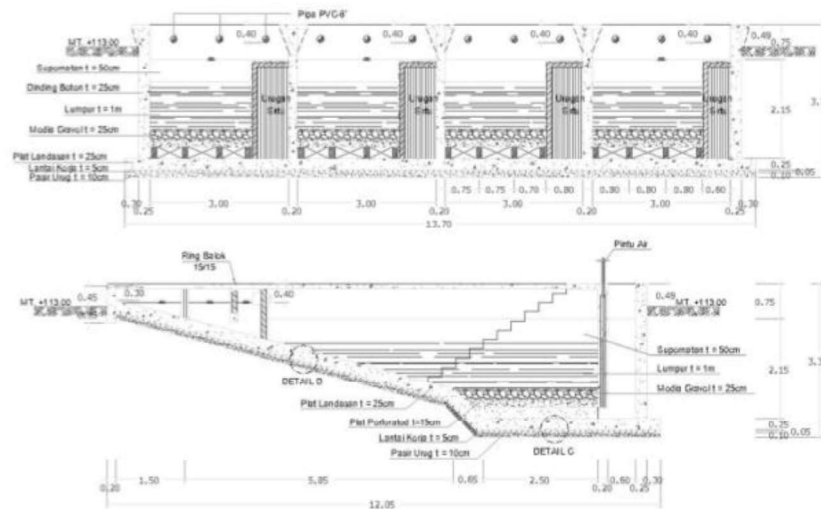
Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu pengeringan <i>cake</i>	T	5 – 12	hari
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	T	1	hari
Ketebalan <i>cake</i>	Hc	10 – 30	cm
Tebal lapisan kerikil	Hk	20 – 30	cm
Tebal lapisan pasir	Hp	20 – 30	cm
Kadar air	P	20	%
Kadar <i>solid</i>	Pi	80	%

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Adapun karakteristik lumpur seperti berikut:

1. Kadar *solid* lumpur = 5 %
2. Kadar air lumpur = 95 %

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2.1 *Solid Separation Chamber (SSC)*

Sumber : (Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 2017)

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Solid Separation Chamber*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> – Pengoperasian sistem sederhana – Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus. 	<ul style="list-style-type: none"> – Diperlukan pengganti media filter secara berkala untuk mencegah efisiensi proses filtrasi dan mencegah penyumbatan. – Pemindahan lumpur dari kolam SSC ke area pengeringan dilakukan secara manual atau menggunakan mekanik (contoh: <i>crane</i>). – Membutuhkan area yang luas.

Sumber : (Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 2017)

2.2.2 Screen

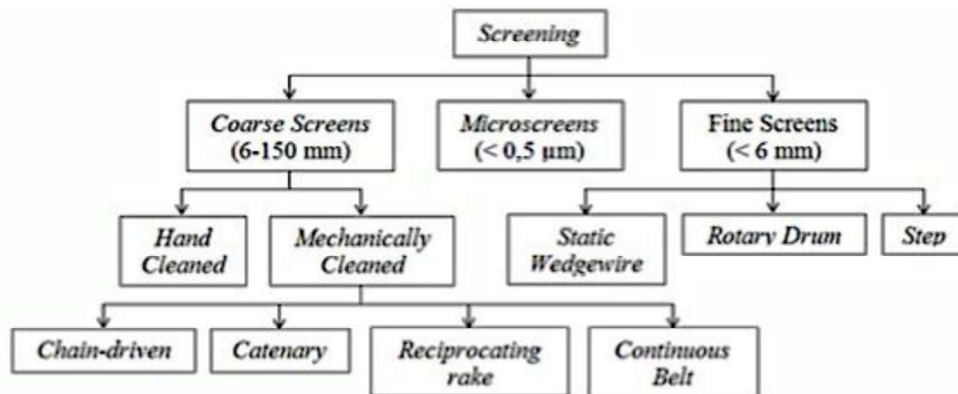
Penyaringan merupakan unit yang penting untuk digunakan pada tahap awal proses pengolahan limbah domestik. Unit ini bertujuan untuk menahan sampah/benda-benda padat besar yang terbawa oleh aliran air agar tidak mengganggu dan mengurangi beban pada sistem pengolahan selanjutnya. Sampah atau benda-benda padat besar yang biasa ditemukan adalah diantaranya, plastik, kain, kayu, dan kerikil. Pada IPAL yang menangani limbah domestik dalam skala kecil, tahap

penyaringan pada umumnya menggunakan manual bar screen. Manual bar screen juga dapat digunakan pada instalasi pengolahan dengan debit influent besar tetapi hanya sebagai by-pass sebelum air limbah disaring menggunakan penyaring mekanis. Sampah sampah yang tertahan pada bar screen harus sering dibersihkan karena apabila menumpuk dapat menyumbat dan mengganggu proses penyaringan. Kelebihan dan kekurangan unit *screen* dapat dilihat pada **tabel 2.3**.

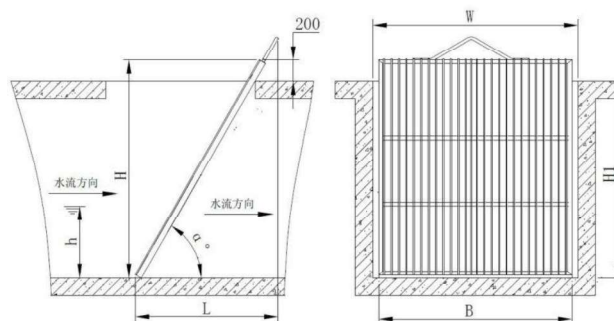
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Screen*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Pengoperasian mudah. - Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat menimbulkan bau dan mengundang lalat akibat sampah yang tertahan pada penyaring. - Pembersihan harus dilakukan secara manual dan berkala.

Sumber : (Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 2017)



Gambar 2.2 Jenis-Jenis *Screening*



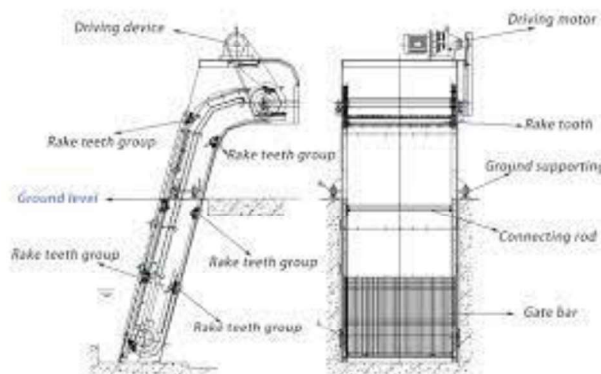
Gambar 2.3 Manual *Bar Screen*

Sumber : google.com

a. Coarse Screen (Penyaring Kasar)

Screen ini berbentuk seperti batangan paralel yang biasa dikenal dengan “*bar screen*” berfungsi untuk menyaring padatan kasar yang berukuran dari 6 – 150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah-sampahlainnya. Adanya screen ini agar melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda tersebut. Cara pembersihan barscreen terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.

Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0.3 – 0,6 m/dt sehinggabahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang. Bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30° - 45° terhadap horisontal.



Gambar 2.4 Coarse Screen

Sumber : google.com

Tabel 2.4 Kriteria Desain *Coarse Screen*

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

Sumber: (Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Halaman 316)

Berdasarkan Qasim & Zhu (2017), untuk mengitung desain unit *screen* dilakukan tahap sebagai berikut:

1) Lebar *screen*:

$$L_{screen} = n_{bukaan} \times r + n_{kisi} \times d \quad (2.1)$$

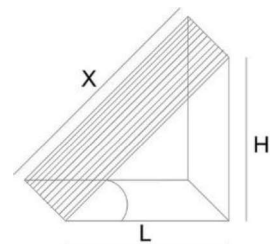
Dengan: L_{screen} = lebar screen (m)
 n_{bukaan} = jumlah bukaan (buah)
 r = jarak antar kisi (m)
 n_{kisi} = jumlah kisi atau bar, $n_{bukaan} - 1$ (buah)
 d = lebar kisi (m)

2) Dimensi *screen*:

$$X = \frac{H}{\sin \theta} \quad (2.2)$$

$$L = \frac{H}{\sin \theta} \quad (2.3)$$

Dengan: X = panjang kisi (m)
 L = panjang *screen* (m)
 H = tinggi total *screen* (m)
 θ = kemiringan horizontal (derajat)



3) Kecepatan melalui kisi:

$$v_2 = \frac{Q}{n_{bukaan} \times r \times h_{aliran}} \quad (2.4)$$

Dengan: h_L = kecepatan setelah melalui kisi (m/detik)

β = debit (m^3 /detik)

h_{aliran} = tinggi kedalam air (m)

4) Headloss saat *non-clogging* dan *clogging*:

$$h_L = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} \times h_v \times \sin \theta \quad (2.5)$$

$$h_L = \frac{1}{C_d} \times \frac{(v_2)^2 \times (v)^2}{2 \times g} \quad (2.6)$$

Dengan: h_L = headloss (m)

β = nilai faktor tipe batang

W = total lebar kisi, $n_{kisi} \times d$ (m)

b = total lebar bukaan, $n_{bukaan} \times r$ (m)

h_v = total kecepatan aliran saat masuk screen (m)

C_d = koef. discharge (saat *non-clogging* = 0,7)
(saat *clogging* = 0,6)

2.2.3 Bak Penampung

Merupakan unit penyeimbang (stabilization), sehingga debit serta kualitas limbah yang masuk ke unit instalasi berikutnya sudah dalam keadaan konstan, digunakan sebagai bak penampung dari saluran pembawa, kemudian bak penampung ini juga digunakan untuk mengalirkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Power yang dibutuhkan apabila menggunakan surface aerator sebesar 0,02 – 0,04 hp/ 103 gal (0.004 – 0.008 Kw/m³). Udara yang dibutuhkan untuk diffuser air aerator sebesar 0.01- 0,015 m³/m³.min (1.25 - 2.0 ft³ udara/ gal.min). Bak Equalisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akandisamakan debit dan konsentrasinya dalam bak

equalisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya.

Kriteria Perencanaan :

- Freeboard = 10 – 20%
- Waktu Detensi = < 2 jam
- Kecepatan = 0,3 – 2,5 m-detik
- Kedalaman (H) = < 3 m

Rumus yang digunakan :

1) Volume bak kontrol

$$V = Q \times td \quad (2.7)$$

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

V = volume (m^3)

Td = waktu detensi

2) Ketinggian total

$$H_{total} = H + (20\% \times H) \quad (2.8)$$

Dengan : H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

3) Luas permukaan

$$A = P \times L \times H \quad (2.9)$$

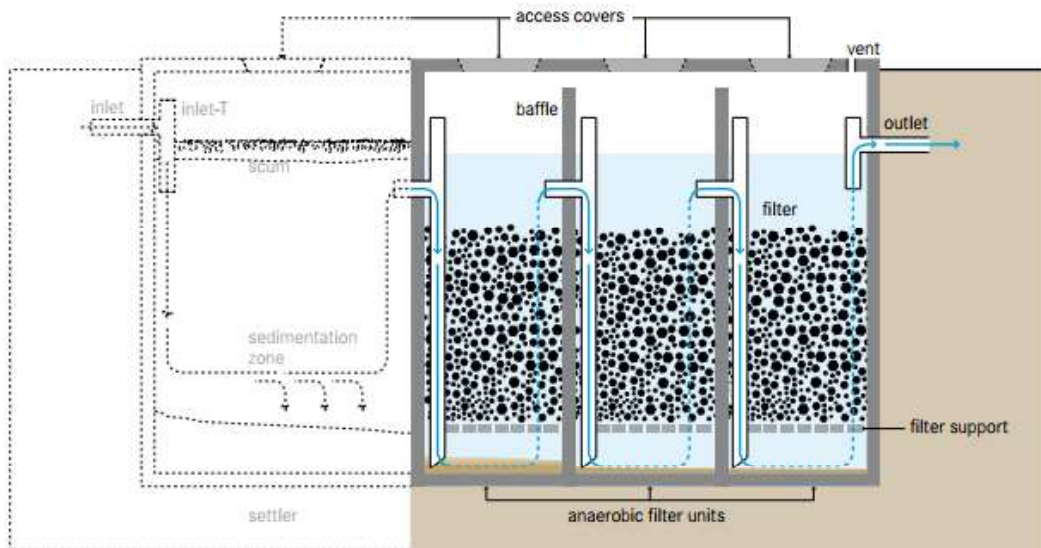
Dengan : A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

P = panjang (m), dengan asumsi 2×1

2.2.4 Upflow Anaerobic Baffled Filter (UABF)

Upflow Anaerobic Baffled Filter (UABF) merupakan unit pengolahan air limbah yang memiliki desain dan sistem pengolahan yang serupa dengan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). UABF terdiri dari sebuah tangki pengendap di awal sistem dan dilanjutkan dengan beberapa kompartemen sekat (*baffled area*) yang memungkinkan air limbah dapat mengalir secara downflow dan upflow. Hal yang membedakan unit ini dari ABR terletak pada penambahan media filter pada area sekat yang berfungsi sebagai media perkembangbiakan bakteri dan filter untuk menyisihkan padatan yang terlarut. Efisiensi penyisihan padatan tersuspensi dan

BOD dapat mencapai 85-90%, tetapi umumnya antara 50-80%. Penyisihan nitrogen relatifnya rendah, biasanya tidak lebih dari 15% dalam bentuk total nitrogen.



Gambar 2.5 *Upflow Anaerobic Baffled Filter (UABF)*

(Sumber : Tilley et al., 2014)

Tabel 2.5 Kriteria Perencanaan Bangunan UABF

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi hidraulik	Jam	12-96
Beban Organik	kgCOD/m ³ ·hari	0,2-15
Luas permukaan media filter	m ² /m ³	90-300
Diameter media filter	mm	12-55
Kedalaman media filter	m	0,9-1,5
Tinggi air di atas media	m	≥ 0,2
Jarak plat penyangga media dengan dasar bak	m	0,5-0,6
Efisiensi penyisihan		
BOD	%	50-90
TSS	%	50-80
Nitrogen	%	≤ 15

(Sumber : Tilley et al., 2014)

2.2.5 Oxidation Ditch (OD) / Parit Oksidasi

Pada hakikatnya flokulator adalah kombinasi antara pencampuran dan pengadukan sehingga flok-flok halus yang terbentuk pada bak pencampur cepat akan saling bertumbukan dengan partikel-partikel kotoran atau flok-flok yang lain sehingga terjadi gumpalan-gumpalan flok yang semakin besar (Said, 2017).

Oxidation Ditch (OD) merupakan salah satu unit hasil modifikasi sistem lumpur aktif. Pada unit ini, proses pengolahan air limbah dilakukan secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme yang menjadikan senyawa polutan sebagai sumber makanan mereka. Mikroorganisme tersebut tumbuh dalam kondisi aerobik secara tersuspensi dan tidak melekat pada media. Pengolahan dengan OD terdiri dari tiga bagian utama, yang terdiri dari tangki aerasi, tangki pengendapan (clarifier), dan resirkulasi lumpur.

Di dalam unit pengolahan OD, air limbah bercampur dengan lumpur aktif yang telah mengandung jutaan kultur mikroorganisme. Aerasi dilakukan menggunakan pompa diffuser atau melalui aerasi mekanik untuk memenuhi kebutuhan oksigen dalam proses bio-oksidasi aerobik dan menghasilkan percampuran yang merata antara lumpur aktif dan air limbah. Mikroorganisme mengadsorpsi padatan organik terlarut di dalam air limbah dan membentuk flok yang akan mengendap di tangki pengendapan.

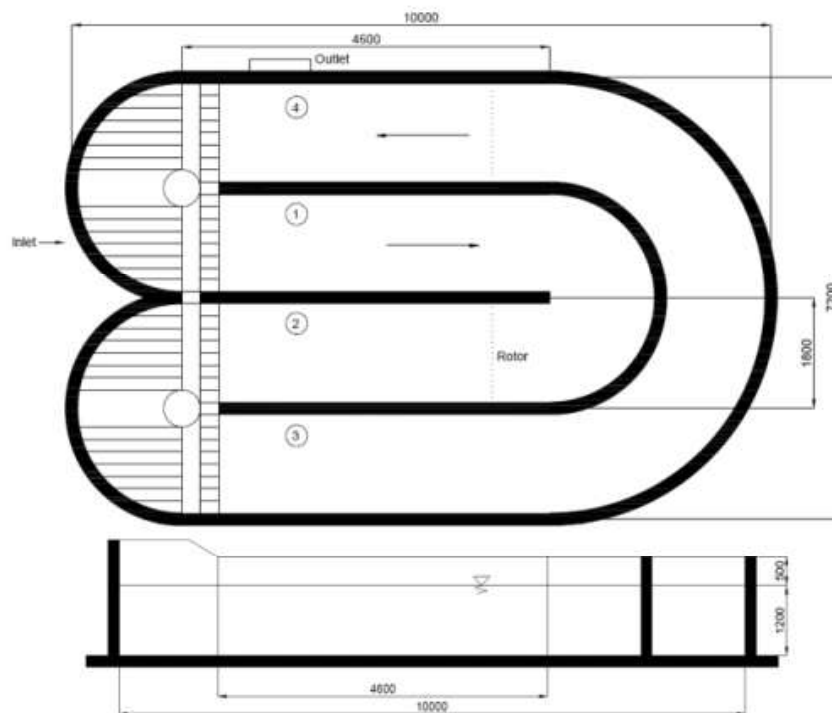
Dari bak aerasi, lumpur campuran/*mixed liquor suspended solids* (MLSS) dialirkan ke tangki pengendap sekunder, di mana biomassa akan mengendap dan menghasilkan kualitas air yang lebih bersih. Cairan efluen yang sudah dalam kondisi lebih jernih mengalir melalui weir pada clarifier. Sedangkan sebagian endapan biomassa diresirkulasi menggunakan pompa resirkulasi menuju tangki aerasi untuk dicampur kembali dengan influen air limbah untuk mendegradasi beban organik seperti pada proses awal. Sistem OD membutuhkan waktu retensi yang panjang untuk menyisihkan padatan organik yang dapat didegradasi secara biologis. Namun, dengan adanya aerasi, OD mampu menyisihkan konsentrasi ammonia-nitrogen hingga mencapai efisiensi lebih dari 85%. Efisiensi penyisihan yang dicapai dari hasil pengolahan pada unit ini hingga 96% BOD dan 97% BOD. Alat aerasi yang digunakan berupa alat mekanik rotor berbentuk tabung dengan

sikat baja. Rotor diputar melalui poros (*axis*) horizontal dipermukaan air yang disebut *cage rotor*. Kelebihan dan kekurangan unit OD dapat dilihat pada **tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Oxidation Ditch*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Waktu retensi hidraulik yang panjang dan pengadukan yang sempurna mengurangi kemungkinan terjadinya <i>shock loading</i> organik dan hidraulik. - Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Konsentrasi solid tersuspensi masih relatif tinggi jika dibandingkan unit lumpur aktif lain. - Kebutuhan luas lahan besar.

Sumber : (Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 2017)



Gambar 2.6 Desain Unit *Oxidation Ditch* Tampak Atas (Atas) dan Tampak Samping (Bawah)

Sumber : (Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 2017)

Tabel 2.7 Kriteria Perencanaan Bangunan *Oxidation Ditch*

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi solid (SRT)	Jam	4-48
Waktu retensi hidraulik (SRT)	Jam	16-24
Beban Organik	kgCOD/m ³ .hari.kg Vss	0,03-0,015
Konsentrasi lumpur dalam bak aerasi, MLSS	Mg/l	3000-6000
Beban <i>volumetrik</i>	kgBOD/m ³ .hari	0,1-0,3
Laju <i>overflow</i>	m ³ /m ² .hari	8-16
Laju beban padatan pada tangki pengendapan, SLR	kgMLSS/m ² .hari	1,0-5
Waktu aerasi	jam	18-36
Rasio resirkulasi, Q _r /Q	-	0,5-20

(Sumber : Metcalf & Eddy. 2003)

Berdasarkan Direktorat PUPR. *Buku A Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. (2017) untuk menghitung desain unit *Oxidation Ditch* dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1) Menentukan karakteristik air limbah yang diperlukan desain:

COD influen yang dapat didegradasi secara biologis

$$bCOD = \sim 1,6 BOD \quad (2.10)$$

$$bCOD = COD + nbCOD \quad (2.11)$$

Dengan : bCOD = Konsentrasi COD yang dapat didegradasi secara biologis (mg/l)

BOD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara biologis (mg/l)

COD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia (mg/l)

nbCOD = Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimia (mg/l)

2) Menghitung kapasitas unit OD:

– Volume OD

$$\frac{Y \times Q \times (S_o - S_e) \times SRT}{X_d \times (1 + k_d \times SRT)} \quad (2.12)$$

Dengan : Y = koef. pembentukan biomassa (rasio perbandingan massa sel yang terbentuk dengan massa substrat yang dikonsumsi) (0,40-0,80 gVSS/gbCOD).

Q = debit influen (m³/hari)

S_o = konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

S_e = konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)

SRT = waktu retensi lumpur (hari)

X_d = konsentrasi MLVSS (konsentrasi mikroorganisme di dalam sistem, dapat diasumsikan 65 -75% dari MLSS)

k_d = koefisien endogen organik
(0,04 - 0,2 gVSS/gVSS.hari)

– Organic loading rate (OLR)

$$OLR = \frac{Q \times S_o}{V} \quad (2.13)$$

Dengan : OLR = massa bod dalam setiap m³ air limbah yang akan diolah oleh mikroorganisme.

V = volume unit *oxidation ditch* (m³)

Q = debit influen rerata (m³/hari)

S_o = konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

– Rasio F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times (S_o - S_e)}{MLSS \times V} \quad (2.14)$$

Dengan : F/M = jumlah makanan : jumlah mikroorganisme

V = volume unit *oxidation ditch* (m³)

Q = debit influen rerata (m³/hari)

S_o = konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

MLVSS = jumlah biomassa aktif yang terbentuk pada saat proses pengolahan menggunakan prinsip *activated sludge* (mg/l)

– Waktu retensi hidraulik (HRT)

$$HRT = \frac{Q}{V} \quad (2.15)$$

Dengan : Q = debit influen rerata (m³/hari)

V = volume unit *oxidation ditch* (m³)

3) Menentukan dimensi unit OD: merancang panjang parit (panjang sisi lurus dan panjang sisi melengkung), lebar parit, dan kedalaman parit (kedalaman pada zona aerator dan tinggi *freeboard*):

4) Menghitung lumpur dan kebutuhan oksigen:

– Jumlah lumpur aktif yang dihasilkan

$$Px = \frac{Q \times Y \times (S_0 - S)}{1 + (k_d) \times SRT} + \frac{(f_d) \times (k_d) \times Y \times Q \times (S_0 - S) \times SRT}{1 + (k_d) \times SRT} \quad (2.16)$$

Dengan : Px_{VSS} = jumlah massa lumpur aktif yang dihasilkan tiap hari

Q = debit influen rerata (m³/hari)

Y = koef. pembentukan biomassa (rasio perbandingan massa sel yang terbentuk dengan massa substrat)

S_0 = konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)

S = konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)

SRT = waktu retensi lumpur (hari)

f_d = fraksi massa sel yang tersisa sebagai debris

k_d = koefisien endogen organik

– Debit lumpur

$$Q \text{ lumpur} = \frac{\text{massa lumpur}}{Sg \times \rho \text{ air} \times 1000 \text{ kg/m}^3} \quad (2.17)$$

Dengan : Massa lumpur = massa lumpur yang dihasilkan per hari

Sg = spesifik gravitasi (1,1)

$\rho \text{ air}$ = massa jenis air (gr/cm³)

– Kebutuhan oksigen

$$R_0 = Q \times (S_0 - S) - 1,42 P_x \quad (2.18)$$

Dengan : R_0	= kebutuhan oksigen (kg/hari)
Q	= debit influen rerata (m^3 /hari)
S_o	= konsentrasi senyawa terlarut dalam influen (mg/l)
S	= konsentrasi senyawa terlarut dalam efluen (mg/l)
$P_{x bio}$	= biomassa sebagai VSS yang terbuang per hari

– Standart oxygen requirement (SOR)

$$SOR = R_0 \times \left[\frac{(\beta \times C_{walt} \times Fa) - Ct}{C_s} \right] \times 1,024^{T-20} \times a \quad (2.19)$$

Dengan : SOR = standart kebutuhan oksigen pada suhu operasi (kg/hari)

R_0	= kebutuhan oksigen (kg/hari)
β	= koef. larutan oksigen (0,95 – 0,98)
a	= koef. transfer oksigen (sesuai tipe limbah)
C_{walt}	= koef. walt (sesuai suhu operasi)
Fa	= faktor kesalahan/error (0,9)
C_s	= Nilai oksigen terlarut pada permukaan laut (9,17)
C_t	= Nilai oksigen terlarut sesuai suhu operasi
T	= Suhu atau temperatur proses ($^{\circ}C$)

– Kebutuhan udara

$$keb. udara = \frac{SOR}{berat\ udara \times \% \text{ oksigen di udara}} \quad (2.20)$$

Dengan : Keb. udara	= laju udara yang dibutuhkan per hari (m^3 /jam)
SOR	= Standar kebutuhan oksigen pada suhu operasi (kg/hari)
Berat udara	= Berat oksigen di udara sesuai suhu operasi (kg/m^3)
% O ₂	= Prosentase oksigen di udara (23,2 %)

2.2.6 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).

Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan Unit *Clarifier*

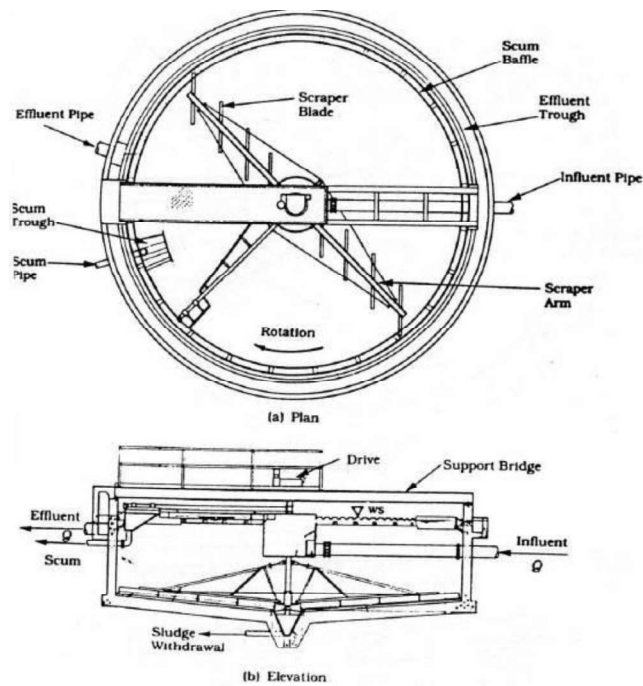
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Teknologi yang sederhana. - Biaya konstruksi dan operasi relatif tidak mahal. - Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Laju beban hidraulik rendah. - Kurang efektif untuk menyingkahkan padatan tersuspensi dalam kondisi beban padatan yang tinggi.

Sumber : (Qasim. 1999)

Tabel 2.9 Kriteria Perencanaan Bangunan *Clarifier*

Kriteria	Satuan	Nilai
Overflow rate (OFR)	$\text{mg}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$	8 - 14
Solids loading (SLR)	$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$	1 - 5
Kedalaman (H)	m	4 - 5,5

Sumber : (Metcalf & Eddy. 2014)



Gambar 2.7 Denah dan Potongan *Clarifier*
(Sumber : Metcalf & Eddy. 2003)

Berdasarkan Asmadi & Suharno dalam Rosidi (2017) untuk menghitung desain unit clarifier dapat dilakukan tahap sebagai berikut:

1) Menghitung zona *settling*

- Mendapatkan debit desain

$$Q_{desain} = Q_{ave} + Q_r \quad (2.21)$$

Dengan : Q_{desain} = debit desain unit *clarifier* (m³/hari)
 Q_{ave} = debit rata-rata limbah masuk (m³/hari)
 Q_r = debit resirkulasi limbah (m³/hari)

- Diameter *inlet wall*

$$Q_{desain} = Q_{ave} + Q_r \quad (2.22)$$

Dengan : D_{inwall} = diameter inlet wall (m)
 D = diameter zona *settling* (m)

- *Overflow rate*

$$OFR = \frac{Q_{tiap\ bak}}{A} \quad (2.23)$$

Dengan : OFR = overflow rate ($m^3 \cdot m^2 / \text{hari}$)
 A = luas permukaan zona *settling* (m^2)

– *Solids loading*

$$SLR = \frac{Q_{\text{tiap bak}} \times MLSS}{A} \quad (2.24)$$

Dengan : SLR = *solids loading rate* $kg \cdot m^2 / \text{jam}$

$MLSS$ = konsentrasi lumpur (kg/m^3)

2) Menentukan zona *thickening*: merancang kedalaman air zona *settling* dengan *freeboard*, konsentrasi *sludge* pada zona *thickening*, total massa *sludge*, dan kedalaman zona *thickening*.

3) Merencanakan zona *sludge*

– Total solid dalam unit *clarifier*

$$\text{Total solid} = \text{Total massa sludge} + \text{Total solid tersimpan} \quad (2.25)$$

Dengan : Tot. solid = jumlah padatan d dalam unit *clarifier* (kg)

Tot. massa = jumlah berat lumpur di dalam unit *clarifier* (kg)

Tot. solid simpan = jumlah padatan yang tersimpan (kg)

– Kedalaman zona *sludge*

$$H_{\text{sludge}} = \frac{\text{total solid dalam unit clarifier}}{(\text{kons. sludge pada thickening} \times A)} \quad (2.26)$$

Dengan : H_{sludge} = kedalaman zona lumpur (m)

Kons. *sludge* = konsentrasi lumpur di zona *thickening* (kg/m^3)

4) Merencanakan saluran inlet dan outlet: panjang saluran, diameter saluran, kecepatan aliran, dan headloss.

5) Merencanakan pelimpah unit *clarifier*:

– Jumlah *v-notch*

$$n_{v\text{-notch}} = \text{keliling weir} + \text{jarak antar } v\text{-notch} \quad (2.27)$$

Dengan : $n_{v\text{-notch}}$ = banyaknya jumlah *v-notch* (buah)

Keliling *weir* = keliling *weir plate* (m)

Jarak antar *v-notch* = Jarak antar *v-notch*, pusat ke pusat (m)

– *Weir loading*

$$\text{weir loading} = Q_{\text{desain}} + L \quad (2.28)$$

Dengan : *Weir loading* = *weir loading* (m³/m.hari)

L = panjang total *v-notch* (m)

6) Menghitung lumpur yang dikuras dan pipa penguras:

– Volume lumpur di unit *clarifier*

$$V_{\text{lumpur}} = \frac{\text{massa lumpur}}{(\rho \text{ air} \times \% \text{ SS} \times S_s)} \quad (2.29)$$

Dengan : V_{lumpur} = volume lumpur tiap *clarifier* (m²)

Massa lumpur = massa / berat lumpur (kg/hari)

% SS = presentase *suspended solid* dalam lumpur

S_s = spesifikasi gravitasi (2,65)

– Waktu pengurasan

$$\text{Waktu pengurasan} = V_{\text{lumpur}} + Q_{\text{pengurasan}} \quad (2.30)$$

Dengan : Waktu pengurasan = waktu pengurasan bak (hari)

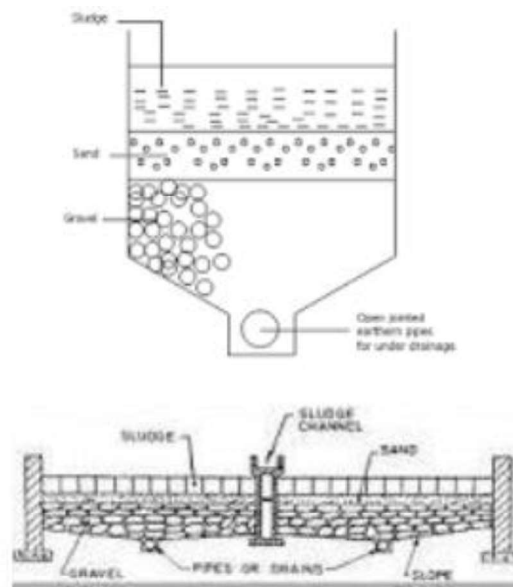
$Q_{\text{pengurasan}}$ = Q pengurasan yang dibutuhkan (m³/hari)

2.2.7 *Sludge Drying Bed*

Sludge drying bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur atau *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 2.8 Potongan Unit Bangunan *Sludge Drying Bed*

(Sumber : Metcalf & Eddy. 2003)

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 sedang = 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*)

Rumus yang digunakan :

- 1) Volume *cake sludge*

$$V_i = \frac{\text{Vol lumpur (1-P)}}{1-P_i} \quad (2.21)$$

Keterangan :

Vol.lumpur = volume lumpur total (m³)

P = kadar air (%)

P_i = berat air dalam *cake* (%)

- 2) Volume *sludge drying bed*

$$V = V_i \times t_d \quad (2.22)$$

Keterangan :

V_i = volume *cake sludge* (m³) per hari

T_d = waktu pengurasan lumpur (hari)

- 3) Volume tiap bak

$$V_b = \frac{v}{\text{Jumlah bak}} \quad (2.23)$$

- 4) Luas permukaan

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}} \quad (2.24)$$

- 5) Dimensi bak

$$A = B \times L \quad (2.25)$$

Keterangan :

B = Lebar bak (m)

L = Panjang bak (m)

6) Volume air

$$H = \frac{Va}{B \times H} \quad (2.26)$$

7) Kedalaman total

$$H \text{ total} = \text{tebal cake} + \text{tebal media} + \text{freeboard} + H \text{ underdrain} \quad (2.27)$$

2.3 Persen Removal

Berikut merupakan persen removal pada setiap unit bangunan pengolahan air buangan yang akan digunakan :

Tabel 2.10 Persen Removal Tiap Bangunan Pengolahan

Jenis Bangunan	Parameter Teremoval	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Solid Separation Chamber (SSC)	BOD	20%	<i>Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal 60</i>
	COD	17%	
	TSS	40%	
	Minyak dan Lemak	10%	<i>Steffie Starina, Riyanto H, Tri Budi IPLT Supiturang. Jurnal</i>
Upflow Anaerobic Baffel Filter (UABF)	BOD	50 - 90%	Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal 75
	TSS	50 - 90%	
	COD	73%	Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal 77
Oxidation Ditch (OD)	BOD	96%	Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal 86
	COD	97%	
Clarifier	TSS	75%	Kementrian PUPR, Buku A IPLT. PUPR. Hal 86

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

Hal-hal yang 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:

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus.

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan.
- b. Kehilangan tekanan pada assesoris.
- c. Kehilangan tekanan pada pompa.

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 :

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Tambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah *solid separation chamber* (SSC).