

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Karakteristik Limbah Domestik (Lumpur Tinja)

Adapun karakteristik air limbah domestik (lumpur tinja) yaitu mengandung amonia, total koliform, pH, TSS, BOD, COD, dan minyak lemak.

##### 2.1.1 Amonia

Amonia ( $\text{NH}_3$ ) adalah senyawa nitrogen yang pada pH rendah akan menjadi  $\text{NH}_4^+$  (amonium). Amonia berasal dari tinja, air seni, serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air buangan industri, air limbah domestik, ataupun air alam. Adanya senyawa amoniak dalam air dapat mengurangi efektivitas klorin. Klorin biasanya digunakan untuk pengolahan air dalam tahap air untuk menghilangkan zat organik yang tersisa dan untuk proses desinfeksi. Amonia dapat membentuk khloramin jika bereaksi dengan asam hipoklorid yang mana kurang efektif sebagai desinfektan sehingga amoniak dapat dikatakan memakai “kebutuhan klorin” pada proses khlorinasi. Senyawa amoniak dalam air limbah dapat diolah menggunakan mikrobiologis dengan metode aerasi melalui proses nitrifikasi (Said & Sya'bani, 2014).

##### 2.1.2 Total koliform

Sumber air di alam pada umumnya mengandung bakteri. Jumlah dan jenis bakteri berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya. Air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari harus bebas dari bakteri patogen. Bakteri golongan koliform tidak termasuk bakteri patogen (Cut Khairunnisa, 2012). Koliform termasuk golongan mikroorganisme yang sering digunakan sebagai indikator air. Bakteri ini mampu menentukan apakah suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak (Adrianto, 2018).

##### 2.1.3 pH

pH (*Power of Hydrogen*) menunjukkan adanya konsentarsi ion hidrogen dalam air yang dapat menjelaskan derajat keasaman suatu perairan (Effendi,

2003). Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Air dengan pH ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika pH tidak diolah sebelum dialirkan, maka air akan mengubah pH secara alami. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan (Metcalf & Eddy, 2003).

#### **2.1.4 Minyak Lemak**

Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987).

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

TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan senyawa berbentuk padat yang tersuspensi berada di dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral-mineral misalnya silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil penguraian jasad makhluk hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. TSS menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

TSS adalah bahan tersuspensi yang mengakibatkan kekeruhan air, terdiri dari pasir halus, lumpur, serta jasad-jasad renik yang berasal dari kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003).

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

BOD adalah parameter pengukuran jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroba untuk menguraikan hampir semua zat organik yang terlarut dan

sebagian zat organik yang tersuspensi dalam air buangan. Penguraian bahan organik artinya bahan organik diperlukan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya dari proses oksidasi (Sunu, 2001). BOD dinyatakan dengan BOD5 hari pada suhu 20°C dalam satuan mg/liter atau ppm. Pemeriksaan BOD5 diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik atau industri dan juga untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis bagi air (Sawyer & McCarty, 1978). (Salmin, 2005)

Kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand*) merupakan parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan. Nilai BOD sangat penting sebagai indikator kualitas perairan. Kandungan BOD yang tinggi menandakan minimnya oksigen terlarut yang terdapat di dalam perairan. Menurut Salmin (2005), kondisi tersebut akan berdampak terhadap kematian organisme perairan seperti ikan akibat kekurangan oksigen terlarut (anoxia). Hasil uji BOD dapat berfungsi untuk menghitung perkiraan jumlah oksigen yang diperlukan untuk menstabilkan zat organik secara biologi dan menentukan dimensi unit pengolahan beserta efisiensinya (Sugiharto, 1987).

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

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan banyaknya oksigen dalam ppm yang diperlukan dalam kondisi khusus untuk menguraikan zat organik menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kuat (potassium dikromat) (Qasim, 1985). Secara kimia bahan organik diuraikan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi panas dan asam menggunakan katalisator perak sulfat (Metcalf & Eddy, 1991). Hal ini mengakibatkan seluruh bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi menjadi gas H<sub>2</sub>O dan gas CO<sub>2</sub> serta sejumlah ion krom. Dengan menggunakan oksidator kalium bikromat, diperkirakan bahan organik dapat dioksidasi sekitar 95%-100% (Effendi, 2003).

Jika air limbah mempunyai rasio BOD/COD  $\geq 0.5$ , maka dapat diolah menggunakan proses biologi. Jika air limbah mempunyai rasio BOD/COD  $< 0.3$ , maka air limbah tidak dapat diolah menggunakan proses biologi akibat

kemungkinan adanya senyawa racun yang tidak sesuai dengan kondisi yang diperlukan oleh mikroorganisme pendegradasi. Uji nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik (Sperling, 2007).

## 2.2 Standar Kualitas Pengelolaan Air Limbah

Standar kualitas pengelolaan air limbah bisa dilihat dari setiap daerah, bergantung pada letak suatu instansi dibangun. Dalam tugas perancangan ini dibangun instalasi pengolahan lumpur tinja di daerah surabaya, sehingga digunakan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013. Selain itu juga digunakan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016 sebagai standar kualitas. Pada tabel 2.1 dan tabel 2.2 ditunjukkan standar kualitas baku mutu yang digunakan dalam tugas perancangan ini.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD5	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan lemak	10
pH	6-9

Sumber: Lampiran Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 Hal 39

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan lemak	mg/L	5

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Amoniak	mg/L	10
Total Koliform	jumlah/100 mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: Lampiran I Permen LHK No 68 Tahun 2016, Hal 11

### 2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Pengolahan air limbah memiliki tujuan untuk meremoval parameter pencemar yang terdapat dalam air limbah hingga memenuhi baku mutu untuk dibuang ke badan air. Pada pengolahan air buangan instalasi pengolahan lumpur tinja di Surabaya, digunakan beberapa unit bangunan pengolahan yang digunakan untuk menyesuaikan limbah dengan baku mutu yang sudah diterangkan pada sub bab sebelumnya. Pengolahan air limbah berdasarkan prosesnya dibagi menjadi pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Pengolahan primer adalah proses pengolahan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, koloid, dan penetralan. Pengolahan sekunder merupakan pengolahan yang berfungsi untuk menyisihkan senyawa organik terlarut yang dilakukan secara biologis. Untuk pengolahan tersier yang merupakan pengolahan lanjutan merupakan proses yang menghasilkan effluent yang memiliki kualitas lebih baik sehingga dapat dibuang ke lingkungan (Said, 2017)

#### 2.3.1 Bak Penerima dan Screening

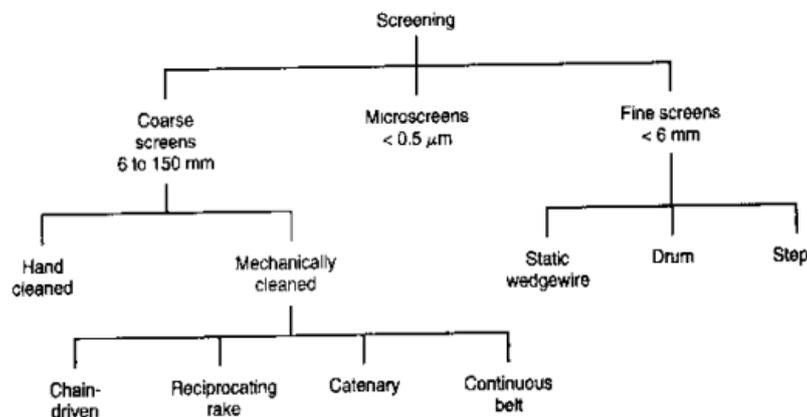
Bak penerima adalah bak sebelum lumpur tinja masuk ke pengolahan selanjutnya. Pada bak penerima ini lumpur tinja masuk pertama kali setelah keluar dari truk tinja. Di dalam bak penerima ini umumnya lumpur tinja dihitung debitnya untuk dilakukan retribusi. Direncanakan dalam bak penerima, untuk ukuran volume lebih besar dari truk lumpur tinja agar cairan tinja tidak meluber-luber jika terjadi maksimum debit tinja. Selanjutnya lumpur tinja akan masuk ke screening untuk proses penyaringan.

*Screening* atau saringan dilakukan pada tahap paling awal dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, proses *screening* dilakukan untuk memisahkan berbagai benda padat yang ada pada air limbah seperti kertas, plastik, kayu, kain, dan benda padat lainnya. Benda-benda tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur serta sistem perpipaan jika tidak dipisahkan terlebih dahulu dalam air limbah. Hal ini dapat menyebabkan masalah serius terhadap pemeliharaan dan operasional peralatan (Said, 2017). Tujuan dari unit ini adalah untuk menahan sampah/benda-benda padat besar yang terbawa dalam lumpur tinja agar tidak mengganggu dan mengurangi beban pada sistem pengolahan selanjutnya. Sampah/benda padat besar yang biasa ditemukan dalam lumpur tinja, diantaranya plastik, kain, kayu dan kerikil (Dirjen Cipta karya, 2013).

Prinsip dari unit *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran buangan yang bisa menyebabkan kerusakan pada alat pengolahan selanjutnya, mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan, dan mengontaminasi aliran air (Metcalf & Eddy, 2003)

*Screen* atau saringan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu saringan kasar (*coarse screen*) dan saringan halus (*fine screen*). Saringan kasar diletakkan pada awal proses. Tipe yang umum digunakan untuk *screening* antara lain *bar rack* atau *bar screen*, *coarse woven-scren*, dan *comminutor*. *Bar screen* terdiri dari batang baja yang dilas pada kedua ujungnya terhadap dua batang baja *horizontal*. Pengelompokan *bar screen* antara lain kasar, halus, dan sedang tergantung dari jarak antar batang. Umumnya *bar screen* diletakkan di depan pompa dan untuk pembersihan *bar screen* dapat dilakukan secara *manual* atau secara mekanik. Pembersihan manual biasanya digunakan untuk IPAL skala kecil.

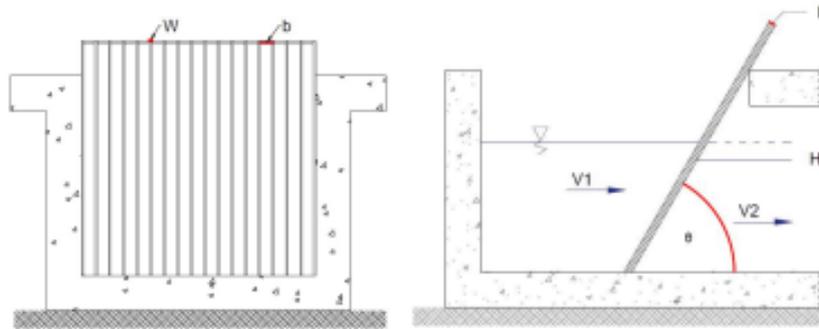
*Screening* diklasifikasikan menjadi 3, ditunjukkan pada gambar 2.1. Didalamnya terdapat batang paralel, batang atau kawat, kisi-kisi, kasa kawat, atau pelat berlubang, dan bukaan dapat berbentuk apapun tetapi umumnya adalah slot melingkar atau persegi panjang. *Screen* yang terdiri dari batang atau batang paralel sering disebut “*bar rack*” atau *coarse screen* dan digunakan untuk menghilangkan padatan kasar. *Fine screen* adalah *screen* yang terdiri dari pelat berlubang, elemen kawat baji, dan kain kawat yang memiliki bukaan lebih kecil. (Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2. 1 Kriteria *Screen*  
 Sumber: Metcalf & Eddy, 2003 Hal 315

*Bar screen* biasanya digunakan untuk fasilitas pengolahan air limbah dengan skala sedang atau skala besar. Kriteria desain dari bar screen umumnya terdiri dari screen chamber (bak) dengan struktur inlet dan outlet. Pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang menangani debit limbah lebih kecil, penyaringan menggunakan *manual bar screen*. Sampah-sampah yang akan menyangkut di bar rack atau *bar screen* harus sering dibersihkan karena apabila menumpuk akan menyumbat dan mengganggu proses penyaringan. Pembersihan *bar screen* dapat dengan cara manual atau dilakukan dengan sikat besi dengan gigi-gigi yang disesuaikan dengan jarak antara bar (Buku A IPLT). Pembersihan *bar screen* dapat dilakukan secara manual atau secara mekanik. Pembersihan manual biasanya digunakan untuk IPAL dengan kapasitas kecil. *Bar screen* biasanya digunakan untuk fasilitas pengolahan air limbah dengan

skala sedang atau skala besar. Pada umumnya terdiri dari *screen chamber* 8 (bak) dengan struktur *inlet* dan *outlet*, serta peralatan saringan (*screen*) (Dirjen Cipta karya, 2013). Untuk kriteria desain dapat dilihat pada tabel 2.3



Gambar 2. 2 Manual Bar Screen  
Sumber: Dirjen Cipta karya, 2013 Halaman 16

Tabel 2. 3 Kriteria Desain untuk Bar Screen

Kriteria Desain	Pembersihan Manual	Pembersihan Mekanis
Kecepatan aliran melalui <i>screen</i> (m/s)	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Ukuran batang Lebar (mm) Panjang (mm)	4 - 8 25 - 50	8 - 10 50 - 75
Jarak antar <i>bar</i> (mm)	25 - 75	75 - 85
<i>Slope</i> dengan <i>horizontal</i> (derajat)	45 - 60	75 - 85
Headloss yang dibolehkan, <i>clogged screen</i> (mm) Maksimum <i>headloss, clogged screen</i> (mm)	150 800	150 800

Sumber: Said, 2017 Halaman 13

Tabel 2. 4 Nilai Koefisien Kekasaran *Manning*

Material	Rentang (Nilai tipikal desain)
Beton	0,012 - 0,018 (0,015)
Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	0,012 - 0,015 (0,013)

Material	Rentang (Nilai tipikal desain)
Batu bata	0,012 - 0,017 (0,015)
Pipa logam bergelombang	0,021 - 0,026 (0,022)
Semen asbestos	0,011 - 0,015 (0,013)
Saluran alam	0,022 - 0,030 (0,025)

Sumber: Dirjen Cipta karya, 2013 Halaman 18

Tabel 2. 5 Kriteria Desain Batang pada Unit Penyaringan

Tipe batang	Nilai $\beta$
Persegi panjang	2,42
<i>Rectangular</i> dengan semi <i>rectangular</i> pada sisi muka	1,83
<i>Circular</i>	1,79
<i>Rectangular</i> dengan semi <i>rectangular</i> pada sisi muka dan belakang	1,67
<i>Tear shape</i>	0,67

Sumber: Dirjen Cipta karya, 2013 Halaman 19

Adapun rumus untuk menghitung dimensi *bar screen* adalah sebagai berikut (Qaim, 1985):

Panjang *Bar Screen* (sisi miring):

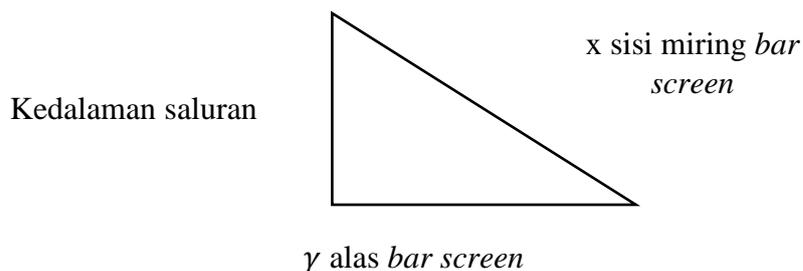
$$\sin \theta = \frac{t_{saluran}}{x}$$

$$x = \frac{t_{saluran}}{\sin \theta} \quad (2.1)$$

Lebar *Bar Screen* /Jarak *Bar Screen*

$$\cos \theta = \frac{y}{x}$$

$$y = x \times \cos \theta \quad (2.2)$$



Keterangan:

$H_{\text{saluran}}$  = kedalaman saluran (m)

$x$  = sisi miring *bar screen* (m)

$y$  = jarak *bar screen* (m)

$\theta$  = derajat kemiringan *bar screen* ( $^{\circ}$ )

Untuk menghitung jumlah kisi dan lebar bukaan kisi dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003).

➤ Jumlah kisi dan batang

$$W_s = n \times d + (n + 1) \times r \dots\dots\dots(2.3)$$

Jumlah Batang = Jumlah kisi (n) -1

Keterangan:

$W_s$  = lebar bak kontrol (m)

$n$  = jumlah kisi (kisi/buah)

$d$  = lebar antar kisi (m)

$r$  = jarak bukaan (m)

➤ Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - (n \times d) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

$W_c$  = lebar bukaan kisi (m)

$W_s$  = lebar bak kontrol (m)

$n$  = jumlah kisi (kisi/buah)

d = lebar antar kisi (m)

➤ Kecepatan yang melalui *bar screen*

$$V = \frac{Q}{(W_c \times h_{air})}$$

Keterangan:

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Q = debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)

h air = ketinggian air melalui screen

*Headloss* melalui bar screen yang bersih dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Said, 2017).

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

Keterangan:

β = faktor tipe batang

w = lebar batang (m)

b = lebar bukaan (m)

h<sub>v</sub> = *velocity head* aliran melalui bukaan  $\left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$  (m)

θ = sudut kemiringan batang terhadap *horizontal* (°)

### 2.3.2 Solid Separation Chamber



Gambar 2. 3 Unit Solid Separation Chamber di IPLT Keputih

Sumber: Dokumentasi Pribadi

*Solid Separation Chamber* (SSC) dan *Drying Area* (DA) merupakan rangkaian pemekatan yang mengandalakan proses fisik dalam memisahkan padatan-cairan dari lumpur tinja. Proses pemisahan padatan-cairan yang

berlangsung pada kolam SSC dilakukan melalui sistem filtrasi dengan menggunakan media pasir dan kerikil dan eaporasi dengan memanfaatkan sinar matahari. Lumpur tinja dihamparkan di atas media filter dan akan terjadi proses filtrasi, dimana padatan akan tertahan pada media dan cairan akan mengalir secara gravitasi melalui celak media. Selanjutnya, filtrat dialirkan menuju stabilisasi cairan melalui system perpipaan yang terletak di bawah unit SSC. Sementara padatan terendapkan, ketika dianggap sudah cukup kering, dikeruk dan dipindahkan ke *drying area* untuk pengeringan lebih lanjut. Pengerukan dan pemindahan dapat dilakukan secara manual atau mekanik (misal dengan menggunakan *crane*). Pada umumnya, unit SSC dilengkapi dengan pintu air untuk mempercepat pengaliran supernatant ke unit stabilisasi cairan (Dirjen Cipta karya, 2013). Adapun contoh SSC dilihat pada gambar 2.3 berikut.

Adapun kriteria perencanaan *Solid Separation Chamber* dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut.

Tabel 2. 6 Kriteria Perencanaan *Solid Separation Chamber*

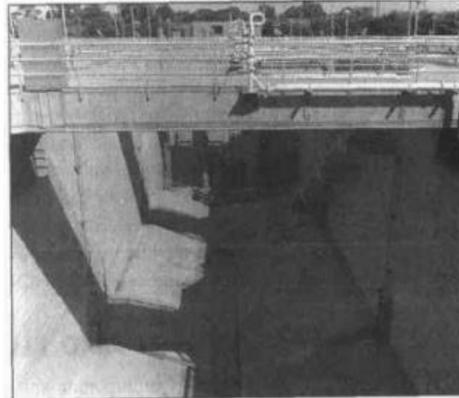
Parameter	Nilai	Satuan
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	1	Hari
Ketebalan <i>cake</i> , hc	10 – 30	Cm
Ketinggian media filter pasir, hk	20 – 30	Cm
Ketinggian media filter kerikil, hp	20 – 30	Cm
Kadar air, P	20	%
Kadar solid, Pi	80	&
Kemiringan dasar	1 : 20	-
Kemiringan dasar pipa	1	%

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2013 halaman 59

#### 2.3.4 Bak Penampung

Bak penampung merupakan unit penyeimbang, sehingga debit serta kualitas limbah yang masuk ke unit instalasi berikutnya sudah dalam keadaan konstan. Manfaat utama dari pemerataan aliran adalah pengolahan biologis ditingkan, karena beban kejut dihilangkan atau dapat diminmalkan. Pemerataan aliran merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan kinerja

instalasi pengoalahan yang kelebihan beban. Namun, kerugiannya meliputi memerlukan lahan yang besar, desain dimungkinkan tertutup untuk mengendalikan bau, dan meningkatnya modal. Pompa dan kontrol pompa karena penyeimbangan aliran memerlukan persyaratan *head* tambahan dalam IPAL (Metcalf & Eddy, 2003). Contoh gambar bak penampung dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Bak Penampung  
Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Bak penampung dapat didesain sesuai dengan debit yang direncanakan perhari dengan kedalaman  $\leq 4$  meter.

### 2.3.5 Grease Trap

Penyisihan minyak dan lemak menggunakan *grease trap* dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya, *grease trap* terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisahkan berbagai jenis padatan dalam lumpur tinja, yaitu padatan dengan berat jenis lebih rendah dari air yang akan mengendap, sedangkan padatan dengan berat jenis lebih ringan dari air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air. Selanjutnya pada kompartemen kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut terbawa air limbah mengalir menuju unit pengolahan selanjutnya. Minyak dan lemak yang tertahan tersebut harus dibersihkan secara berkala untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah

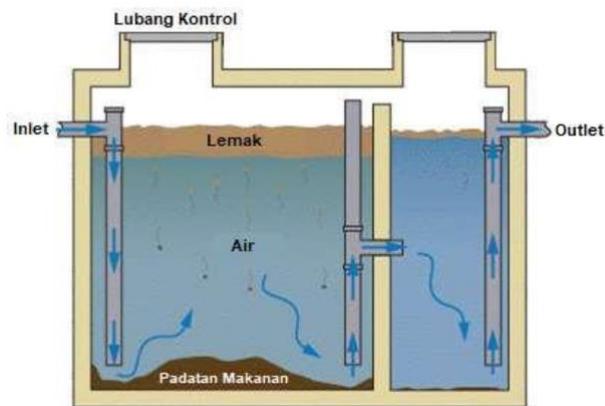
terjadinya penyumbatan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa *grease trap* mampu menyisahkan hingga 80% minyak dan lemak (EPA, 1998) dan 50-80% BOD dan TSS (DPH, 1998) (Dirjen Cipta karya, 2013).

Kriteria perencanaan desain untuk unit *grease trap* adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 7 Kriteria Desain Unit *Grease Trap*

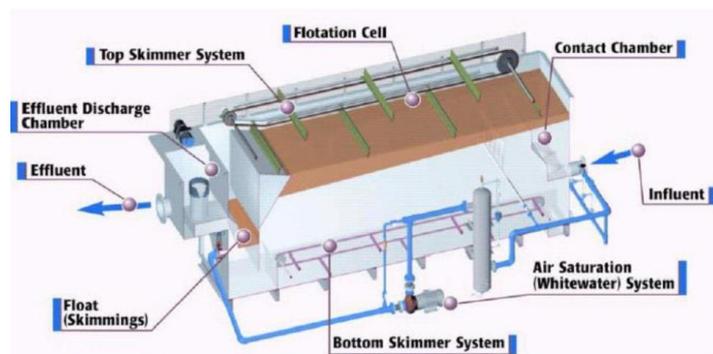
Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan aliran	2 - 6	m/jam
Waktu tinggal	5 - 20	menit

Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2017. Halaman 25



Gambar 2. 5 Skema *Grease Trap*  
Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2013

### 2.3.6 Dissolved Air Flotation (DAF)



Gambar 2. 6 Proses Dissolved Air Flotation  
Sumber: [FLOTASI. - ppt download \(slideplayer.info\)](http://FLOTASI.ppt)

Flotasi adalah unit operasi yang digunakan untuk memisahkan partikel padat atau cair dari fase cair. Pemisahan dilakukan dengan memasukkan gelembung gas halus (udara) ke dalam fase cair. Gelembung menempel pada partikel, dan gaya apung gabungan partikel dan gelembung gas cukup besar untuk menyebabkan partikel naik ke permukaan. Partikel yang memiliki densitas lebih tinggi dari cairan dengan demikian dibuat naik.

Proses flotasi udara terlarut / *Dissolved Air Flotation* (DAF) merupakan sistem pengolahan air yang telah terbukti efektif dalam proses pemisahan partikel tak terlarut dari dalam air. Prinsip dari proses ini adalah terjadinya pengikatan flok oleh gelembung-gelembung udara yang berasal dari proses pencampuran antara udara dengan air dalam tekanan tinggi, sehingga udara akan terlarut dalam air dan membentuk gelembung-gelembung udara dengan ukuran yang sangat kecil, antara 10 mm – 100 mm. Pada proses ini padatan tersuspensi dan akan dipisahkan dengan sistem mekanik (Andrian et al., 2020).

Sistem dalam flotasi udara terlarut/ *Dissolved Air Flotation* (DAF) udara didistribusikan dipecahkan dalam air limbah di bawah tekanan beberapa atmosfer, diikuti dengan pelepasan tekanan ke tingkat atmosfer. Dalam sistem tekanan kecil, seluruh aliran dapat diberi tekanan melalui pompa hingga 275 hingga 350 kPa dengan udara terkompresi ditambahkan pada *suction* pompa. Dalam tangki retensi di bawah tekanan selama beberapa menit untuk memberikan waktu bagi udara untuk larut, kemudian masuk melalui katup pengurang tekanan ke tangki flotasi di mana udara keluar dari oli dengan gelembung yang sangat halus (Metcalf & Eddy, 2004)

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

- **Flotasi**

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

➤ **Air flotation**

Udara-udara akan masuk ke dalam fluida dengan menggunakan mekanisme *rotor-disperser*. *Rotor* yang terendam dalam fluida akan mendorong udara menuju bukan *disperser* sehingga udara bercampur dengan air sehingga partikel yang mengapung disisihkan. Sistem ini memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan area yang luas dan lebih efektif dalam menyisihkan partikel minyak.

➤ **Dissolved Air Flotation (DAF)**

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

➤ ***Vacum Flotation***

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

• **Koagulasi-Flokulasi**

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan.

Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya Tarik-menarik antar partikel lebih kecil dengan gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi.

Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain-

lain agar dapat membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi. (Said, 2017)

Proses koagulasi merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Terdapat pengadukan cepat (*flash mixing*) dan pengadukan lambat (*slow mixing*). Pengadukan cepat bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses flash mixing. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi antara lain PAC, *aluminium sulfat*, *feri sulfat* dan *ferro sulfat* (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014)

Rumus yang digunakan dalam unit DAF sebagai berikut:

- Tekanan udara (P)

$$A/S = \frac{1,3 \times sa \times (fp-1)}{sa} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

A/s = Rasio udara per padatan; 0,005-0,06 (mL udara/mg padatan)

sa = kelarutan udara

Tabel 2. 8 Kelarutan Udara

Temperatur (°C)	0	10	20	30
sa (mg/L)	29,2	22,8	18,7	15,7

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

P = Tekanan (atm)

Sa = Influent suspended solid (mg/L)

- Volume bak flotasi (V)

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

Dengan:

V = Volume bak flotasi ( $m^3$ )

Q = debit limbah ( $m^3/s$ )  
 td = waktu detensi (s)

➤ Luas permukaan bak flotasi (A)

$$A = \frac{Q}{SLR} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

A = luas permukaan ( $m^2$ )  
 Q = Debit air limbah ( $m^3/s$ )  
 SLR = Surface Loading Rate ( $\frac{L}{m^2} \cdot \text{menit}$ )

➤ Dimensi bak flotasi

$$V = L \times B \times H \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

V = Volume bak flotasi ( $m^3$ )  
 L = Panjang bak (m)  
 B = Lebar bak (m)  
 H = Kedalaman air pada bak flotasi (m)

Menghitung konsentrasi TSS yang disisihkan

➤ Konsentrasi TSS yang disisihkan

$$\text{TSS disisihkan} = \% \text{removal} \times \text{TSS influent} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

TSS disisihkan = Jumlah TSS yang disisihkan (mg/L)  
 % removal = Persen TSS teremoval (%)  
 TSS influent = Jumlah TSS masuk (mg/L)

➤  $\text{TSS effluent} = \text{TSS Influent} - \text{TSS tersisih} \dots\dots\dots(2.11)$

dengan:

TSS Effluent = Jumlah TSS yang keluar dari bak  
 DAF (mg/L)  
 TSS Influent = Jumlah TSS masuk (mg/L)  
 TSS tersisih = Jumlah TSS yang disisihkan (mg/L)

➤ Berat TSS disisihkan (W TSS) =  $\text{TSS disisihkan} \times Q \text{ limbah} \dots\dots\dots(2.12)$

dengan:

$W_{TSS}$  = Berat TSS yang disisihkan (kg/hari)  
 $TSS_{disisihkan}$  = Kadar TSS terremoval (mg/L)  
 $Q_{limbah}$  = Debit air limbah yang masuk (m<sup>3</sup>/hari)

➤ Debit TSS disisihkan ( $Q_{TSS\ disisihkan}$ ) =  $\frac{TSS\ tersisihkan}{\rho_{solid}}$  ..... (2.13)

dengan:

$Q_{TSS\ disisihkan}$  = Debit TSS disisihkan (m<sup>3</sup>/hari)  
 $TSS_{disisihkan}$  = Jumlah/konsentrasi TSS yang disisihkan (mg/L)  
 $\rho_{solid}$  = Massa jenis solid (kg/m<sup>3</sup>)

➤ Berat air yang terremoval ( $W_{air}$ ) =  $\frac{(100\% - \%TSS)}{\%TSS} \times W_{TSS\ tersisihkan}$

.....  
(2.14)

dengan:

$W_{air}$  = Berat air terremoval (kg/hari)  
 $W_{TSS}$  = Berat TSS tersisihkan (kg/hari)

➤ Volume air ( $V_{air}$ ) =  $\frac{W_{air}}{\rho_{air}}$

dengan:

$V_{air}$  = Volume air terremoval (m<sup>3</sup>/hari)  
 $W_{air}$  = Berat air terremoval (kg/hari)  
 $\rho_{air}$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

➤ Volume sludge ( $V_{sludge}$ ) =  $V_{TSS} + V_{air}$  ..... (2.15)

dengan:

$V_{sludge}$  = Volume sludge (m<sup>3</sup>/hari)  
 $V_{TSS}$  = Volume TSS terremoval (m<sup>3</sup>/hari)  
 $V_{air}$  = Volume air terremoval (m<sup>3</sup>/hari)

➤ Berat sludge ( $W_{sludge}$ ) =  $V_{sludge} \times \rho_{sludge}$  ..... (2.16)

dengan:

$W_{sludge}$  = Berat sludge (kg/hari)  
 $V_{sludge}$  = Volume sludge (m<sup>3</sup>/hari)

$$\rho \text{ sludge} = \text{Massa jenis asludge (kg/m}^3\text{)}$$

Menghitung konsentrasi minyak lemak yang disisihkan

➤  $\text{Konsentrasi minyak lemak yang disisihkan} = \% \text{ removal} \times \text{minyak lemak influent} \dots\dots\dots (2.17)$

dengan:

$\text{Minyak lemak disisihkan} = \text{Jumlah minyak lemak yang disisihkan (mg/L)}$

$\% \text{ removal} = \text{Persen minyak lemak terremoval (\%)}$

$\text{Minyak lemak influent} = \text{Jumlah minyak lemak masuk (mg/L)}$

➤  $\text{Minyak lemak effluent} = \text{minyak lemak influent} - \text{minyak lemak tersisih} \dots\dots\dots (2.18)$

dengan:

$\text{Minyak lemak Effluent} = \text{Minyak lemak yang keluar dari DAF (mg/L)}$

$\text{Minyak lemak Influent} = \text{Jumlah minyak lemak masuk (mg/L)}$

$\text{Minyak lemak tersisih} = \text{Jumlah minyak lemak yang disisihkan (mg/L)}$

➤  $\text{Berat minyak lemak disisihkan (W minyak lemak)} = \text{Minyak lemak disisihkan} \times \text{Q limbah} \dots\dots\dots (2.19)$

dengan:

$\text{W minyak lemak} = \text{Berat minyak lemak yang disisihkan (kg/hari)}$

$\text{Minyak lemak disisihkan} = \text{Kadar minyak lemak terremoval (mg/L)}$

$\text{Q limbah} = \text{Debit air limbah yang masuk (m}^3\text{/hari)}$

➤  $\text{Debit minyak lemak disisihkan (Q TSS disisihkan)} \dots\dots\dots = \frac{\text{minyak lemak tersisihkan}}{\rho \text{ minyak}} \dots\dots\dots (2.20)$

dengan:

$\text{Q minyak lemak disisihkan} = \text{Debit minyak lemak disisihkan (m}^3\text{/hari)}$

$\text{TSS disisihkan} = \text{Jumlah/konsentrasi TSS yang disisihkan (mg/L)}$

$$\rho \text{ minyak} = \text{Massa jenis solid (kg/m}^3\text{)}$$

Gutter

➤ Volume gutter (saluran pelimpah) =  $Q \times td$ .....(2.21)

dengan:

$$V \text{ Gutter} = \text{Volume gutter (m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{Debit effluent (m}^3\text{/s)}$$

$$td = \text{Waktu detensi (s)}$$

➤ Tinggi air diatas gutter (h air)

$$Q = \frac{2}{3} \times Cd \times B \times \sqrt{2 \times g} \times h^{3/2} \dots\dots\dots(2.22)$$

dengan:

$$Q = \text{Debit effluent (m}^3\text{/s)}$$

$$Cd = \text{Koef kontraksi (0,62)}$$

$$B = \text{Lebar bak (m)}$$

Rumus yang digunakan untuk kebutuhan udara:

➤ Kebutuhan teoritis

$$\text{Kebutuhan teoritis} = \text{Jumlah minyak \& lemak yang tersisih} \dots\dots(2.23)$$

➤ Kebutuhan O<sub>2</sub> teoritis = *kebutuhan teoritis* × *f* .....(2.24)

Keterangan:

$$\text{Kebutuhan teoritis} = \text{kebutuhan teoritis (kg/hari)}$$

$$F = \text{faktor desain}$$

➤  $\sum$  Kebutuhan O<sub>2</sub> teoritis =  $\frac{\text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{berat standar udara} \times \text{O}_2 \text{ dalam udara}} \dots\dots(2.25)$

Keterangan:

$$\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = \text{kebutuhan teoritis (m}^3\text{/menit)}$$

$$\text{Berat standar udara} = \text{berat standar udara (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{O}_2 \text{ dalam udara} = \text{oksigen dalam udara (\%)}$$

➤ Kebutuhan O<sub>2</sub> aktual =  $\frac{\sum \text{kebutuhan O}_2 \text{ teoritis}}{\text{efisiensi difuser}} \dots\dots\dots(2.26)$

Keterangan:

$$\text{Keb O}_2 \text{ aktual} = \text{kebutuhan oksigen actual (m}^3\text{/menit)}$$

Kebutuhan O <sub>2</sub> teoritis	= kebutuhan teoritis (kg/hari)
Efisiensi diffuser	= efisiensi pada diffuser (%)

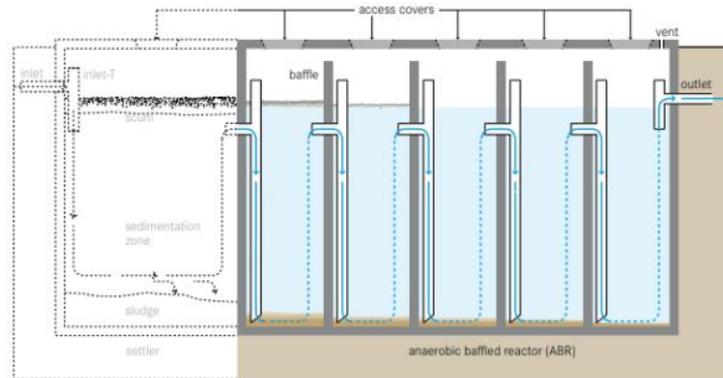
### 2.3.7 Anaerobic Baffled Reactor

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

Ruang *upflow* memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada *septic tank* konvensional. Pada unit ini, aliran masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m<sup>3</sup> per hari. Parameter desain meliputi waktu retensi hidraulik (HRT) antara 48 hingga 72 jam, kecepatan aliran ke atas air limbah di bawah 0,6 m/jam dan jumlah ruang aliran ke atas (3 hingga 6). Sambungan antara ruang dapat dirancang baik dengan pipa vertikal atau *baffle*. Biasanya, biogas yang dihasilkan dalam ABR melalui pengolahan anaerobik tidak dikumpulkan karena jumlahnya tidak mencukupi. Tangki harus berventilasi untuk memungkinkan pelepasan dari bau dan gas secara terkontrol yang berpotensi bahaya. Teknologi ini cocok untuk area di mana lahan mungkin terbatas karena tangki paling sering dipasang di bawah tanah dan membutuhkan lahan yang kecil (Tilley et al., 2014).

Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65–90% COD; 70–95% BOD; dan 80–90% TSS. Efisiensi penyisihan bakteri patogen pada unit ini rendah sehingga membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Direktorat Jenderal

Cipta Karya, 2017). Adapun contoh gambar ABR dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2. 7 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)  
Sumber: Tilley, et al, 2014

Adapun kriteria perencanaan untuk unit *Anaerobic Baffled Reactor* tercantum pada tabel 2.9 berikut.

Tabel 2. 9 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

Parameter	Satuan	Nilai
Debit desain	m <sup>3</sup> /hari	2-200
Waktu retensi hidraulik	jam	12-96
Kecepatan upflow	m/jam	<0,6
Jumlah kompartemem	buah	3-6
Efisiensi penyisahan		
BOD	%	70-95
COD	%	65-90

Sumber: Tilley, et al, 2014

Anaerobic baffled reactor terdiri dari zona pengendap dan zona sekat (baffled area). Untuk menghitung dimensi zona pengendapan, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$V \text{ zona pengendap} = Q \times HRT \dots\dots\dots (2.27)$$

$$H \text{ zona pengendap} = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\text{Surface loading} = \frac{q}{A} \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan:

Q = debit influent ( $m^3/jam$ )

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V = Volume ( $m^3$ )

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

Surface loading = beban permukaan ( $\frac{m^3}{m^2}/hari$ ) ..... (2.30)

Adapun untuk menghitung zona sekat dalam *anaerobic baffled reactor* dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$V_{ABR} = Q \times HRT$  ..... (2.31)

Luas permukaan (A surface) upflow =  $\frac{Q}{v_{up}}$  ..... (2.32)

Panjang kompartemen downflow (L down) =

$\frac{\text{Luas permukaan downflow}}{\text{Lebar kompartemen downflow}}$  ..... (2.33)

Total kompartemen ..... = volume kompartemen upflow+ volume kompartemen downflow ..... (2.34)

Jumlah kompartemen =  $\frac{\text{Volume ABR}}{\text{Volume total kompartemen}}$  ..... (2.35)

Total volume aktif baffled area ..... = (Panjang kompartemen upflow+downflow) x lebar kompartemen x kedalaman efektif x jumlah kompartemen..... (2.36)

OLR COD =  $\frac{\text{Organic load}}{\text{Total volume aktif baffled area}}$  ..... (2.37)

Keterangan:

Q = debit influent ( $m^3/jam$ )

HRT = waktu retensi hidraulik (jam)

V up = kecepatan upflow ( $m^3$ )

A = luas permukaan ( $m^2$ )

Surface loading = beban permukaan ( $\frac{m^3}{m^2}/hari$ ) ..... (2.38)

OLR COD = Organic Loading Rate COD (0,1-8 kg COD/ $m^3$ .hari).. (2.39)

Organic load = beban organik (kg/hari) ..... (2.40)

### 2.3.12 Kolam Aerasi

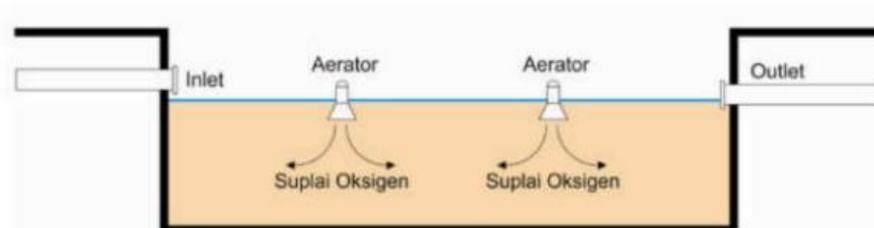
Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Proses aerasi yang dilakukan secara mekanis berpotensi meningkatkan efisiensi degradasi material organik dan penyisihan bakteri patogen dengan waktu retensi yang relative singkat, yaitu 2-6 hari. Waktu retensi dalam kolam aerasi kurang dari 2 hari tidak direkomendasikan karena terlalu singkat untuk proses pembentukan flok. Kolam aerasi pada dasarnya termasuk dalam sistem lumpur aktif, tetapi tidak menerapkan resirkulasi lumpur. Efisiensi penyisihan BOD dari hasil pengolahan pada kolam aerasi mampu mencapai lebih dari 90% (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017)

Kolam aerasi merupakan unit pengolahan berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator terapung. Tidak membutuhkan sistem resirkulasi lumpur karena tidak ada lumpur yang perlu dikembalikan. Lumpur biologis dibiarkan mengendap di dasar kolam bak sedimentasi. Selanjutnya lumpur dari sedimentasi akan diolah ke unit pengering lumpur.

Untuk membantu suplai oksigen di unit aerasi maka diperlukan alat aerator apung. Alat aerator yang dipasang harus dapat memberikan suplai oksigen yang dibutuhkan ke seluruh unit aerasi. Penentuan kebutuhan tenaga dan jumlah aerator ditentukan melalui faktor berikut:

- a) kebutuhan oksigen;
- b) disesuaikan dengan power daya yang sudah dihitung

Adapun gambar kolam aerasi dapat dilihat pada gambar X.



Gambar 2. 8 Kolam Aerasi  
Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04,2017

Adapun kriteria perencanaan kolam aerasi dapat dilihat pada tabel 2.10 berikut:

Tabel 2. 10 Kriteria Desain Kolam Aerasi

Parameter	Satuan	Nilai
Tipe Aliran		Pencampuran sempurna
Waktu tinggal	hari	3-10
Kedalaman	m	1,83-6,1
pH		6,5-8
Temperatur	°C	0-30
Temperatur optimum	°C	20
Beban BOD	Kg/ha.hari	-
Efisiensi penyisihan BOD	%	80-95
Hasil konversi BOD yang utama		CO <sub>2</sub> , bakteri, jaringan sel
Konsentrasi alga	mg/l	-
Padatan tersuspensi (SS) di dalam effluent*	Mg/l	80-250

Sumber: Said, 2017

\*) termasuk alga, mikroorganisme, dan sisa padatan tersuspensi.

Didasarkan pada konsentrasi BOD terlarut di dalam *influent* 200 mg/l, dan padatan tersuspensi 200 mg/l.

### 2.3.8 Desinfeksi

Metode dan cara disinfeksi paling sering dilakukan dengan menggunakan:

- 1) bahan kimia,
- 2) bahan fisik,
- 3) cara mekanis, dan
- 4) radiasi. B

Bahan kimia yang telah digunakan sebagai desinfektan antara lain:

- 1) klorin dan senyawanya,
- 2) brom
- 3) yodium

- 4) ozon
- 5) fenol dan senyawa fenolik
- 6) alkohol
- 7) logam beavy dan senyawa terkait
- 8) pewarna
- 9) sabun dan detergen sintetis
- 10) senyawa amonium kuartener
- 11) hydrogen peroksida
- 12) asam parasetat
- 13) berbagai alkali
- 14) berbagai asam

Desinfektan yang paling umum adalah bahan kimia, pengoksidasi dan klorin adalah yang paling umum digunakan (Metcalf dan Eddy,2003)

Mekanisme utam desinfektan adalah:

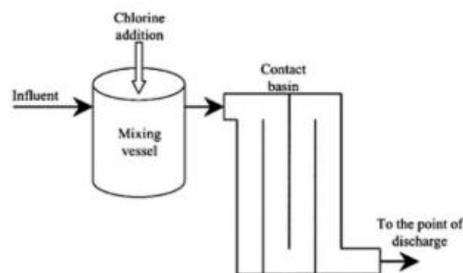
1. Kerusakan dinding sel
2. Perubahan permeabilitas sel
3. Perubahan sifat koloid dari protoplasma
4. Perubahan DNA atau RNA organisme dan
5. Penghambatan aktivitas enzim

Kerusakan atau kehancuran dinding sel akan mengakibatkan sel lisis dan mengalami kematian. Beberapa agen, seperti penisilin, menghambat sintesis dinding sel bakteri. Agen seperti senyawa fenolik dan detergen mengubah permeabilitas membrane sitoplasma. Zat-zat ini menghancurkan permeabilitas selektif membran dan memungkinkan nutrisi penting seperti nitrogen dan fosfor, untuk menghilang. Panas, radiasi, dan zat yang sangat asam atau basa mengubah sifat koloid dari protoplasma. Panas akan mengentalkan protein sel dan asam atau basa akan mendenaturasi protein, menghasilkan efek mematikan. Radiasi UV dapat menyebabkan pembentukan ikatan rangkap pada mikroorganisme serta memecahkan beberapa untai DNA. Ketika foton UV diserap oleh DNA pada bakteri dan protozoa dan DNA dan RNA pada virus, dimer kovalen dapat dibentuk dari timin yang berdekatan dalam DNA atau

urasil dalam RNA. Pembentukan ikatan rangkap mengganggu proses replikasi sehingga organisme tidak dapat lagi bereproduksi dan dengan demikian menjadi tidak aktif. Cara lain desinfeksi adalah penghambatan aktivitas enzim. Zat pengoksidasi, seperti klorin, dapat mengubah susunan kimiawi enzim dan menonaktifkan enzim (Metcalf dan Eddy, 2003)

Faktor-faktor yang mempengaruhi tindakan desinfektan dalam menerapkan agen atau sarana desinfektan, yaitu:

1. Waktu kontak
2. Konsentrasi desinfektan
3. Intensitas dan sifat fisik agen atau sarana
4. Suhu
5. Jenis organisme, dan
6. Sifat cairan pensuspensi (Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2. 9 Skema Sistem Klorinasi  
Sumber: Wang et al, 2004

### 2.3.9 Sludge Drying Bed

*Sludge drying bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

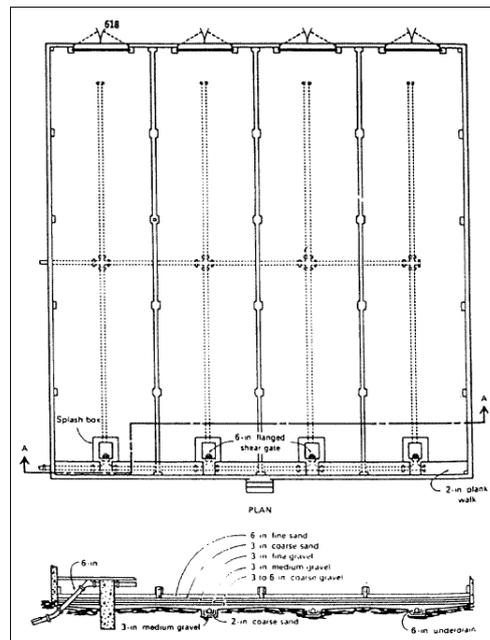
*Sludge Drying Bed* secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur/sludge yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan

(*landfill*). Keuntungan penggunaan *Sludge Drying Bed* diantaranya, sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2003):

- a. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan.
- b. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan.
- c. Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan.

Kerugian penggunaan *Sludge Drying Bed* adalah sebagai berikut:

- a. Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya.
- b. Dibutuhkan lahan yang lebih luas.
- c. Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge*/ lumpur.



Gambar 2. 10 Sludge Drying Bed  
Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, halaman 157

*Conventional Sand Sludge Drying Bed* pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/*sludge* dengan ukuran padatan yang relative kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur diletakkan pada kolam yang memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air

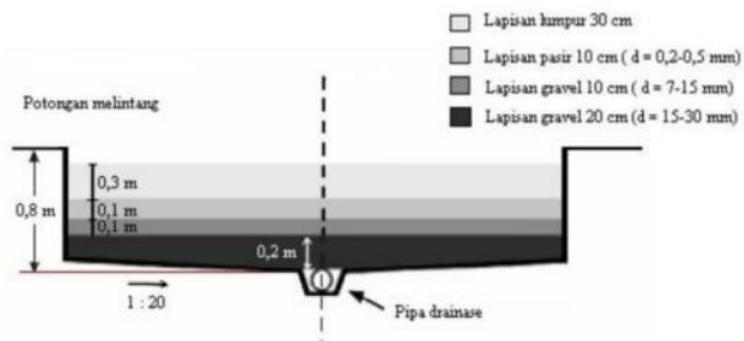
dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat 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 m-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 mm - 300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur 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. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed*.

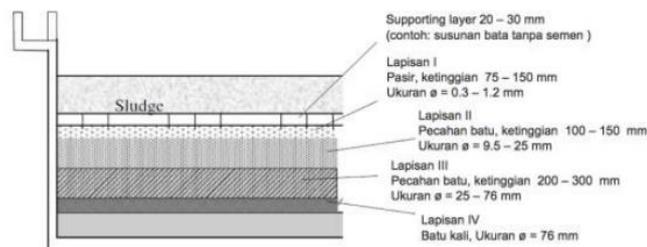
Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering (Metcalf & Eddy, 2003)

Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah *sludge* mengering. *Sludge*/lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15

hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila lumpur telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan (Metcalf & Eddy, 2003). *Sludge drying bed* yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. Daya tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{tahun}$ ) (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun contoh dan skema *sludge drying bed* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. 11 *Sludge Drying Bed*  
 Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017



Gambar 2. 12 Skema *Sludge Drying Bed*  
 Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017

### Kriteria Desain

- a. Tebal sludge cake = 200 – 300 mm  
(Metcalf & Eddy, 2003)
  - b. Tebal lapisan media:
    - 150 mm pasir halus
    - 75 mm pasir kasar
    - 75 mm kerikil halus
    - 75 mm kerikil sedang
    - 75-150 mm kerikil kasar
  - c. Kecepatan minimum pipa lumpur = 0,75 m/detik  
(Metcalf & Eddy, 2003)
  - d. Freeboard = 5 – 30%
  - e. Waktu pengeringan = 10 – 15 hari
  - f. Kadar solid = 60%
  - g. Kadar air (P) = 40% (sisa dari kadar solid 100%)
  - h. Berat air dalam cake (pi) = 20 – 50%  
(Metcalf & Eddy, 2003)
  - i. Lebar bed = 5 – 8 m
  - j. Panjang bed = 6 – 30 m
- (Sumber: Qasim, 1985)