

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Domestik (Lumpur Tinja)

Adapun karakteristik air limbah domestik (lumpur tinja) yaitu mengandung TSS, BOD, COD, amoniak, dan total *coliform*.

2.1.1 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

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).

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).

2.1.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

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 H₂O dan gas CO₂ 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 ≥ 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).

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

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).

2.1.4 Amoniak

Amoniak (NH₃) adalah senyawa nitrogen yang pada pH rendah akan menjadi NH₄⁺ (amonium). Amoniak 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 khlorin. Khlorin biasanya digunakan untuk pengolahan air dalam tahap air untuk menghilangkan zat organik yang tersisa dan untuk proses desinfeksi. Amoniak 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).

2.1.5 Total Coliform

Kualitas air dengan parameter mikrobiologi dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan bakteri, virus, parasit. Bakteri yang digunakan sebagai indikator adalah bakteri coliform. Bakteri coliform merupakan organisme nonspora yang motil atau nonmotil, berbentuk batang, dan mampu memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada temperatur 37⁰C dalam waktu inkubasi 48 jam (Abdullah et al., 2019).

Konsentrasi total *coliform* yang tinggi melebihi batas standar baku mutu merupakan indikator adanya cemaran patogen infeksius yang menimbulkan penyebaran penyakit melalui perantara media air (*water diseases*). Selain itu kandungan limbah cair dengan konsentrasi total coliform yang tinggi juga dapat mempengaruhi kehidupan organisme biota pada suatu perairan (Sulistiyawati, 2019).

2.2 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. Berdasarkan urutan proses, pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Pengolahan primer adalah proses pengolahan untuk menghilangkan padatan tersuspensi, koloid, dan penetralan. Pengolahan sekunder adalah proses penyisihan senyawa organik terlarut yang dilakukan secara biologis. Pengolahan lanjut adalah proses untuk menghasilkan air *effluent* dengan kualitas yang lebih baik sehingga dapat dimanfaatkan atau dibuang ke lingkungan (Said, 2017).

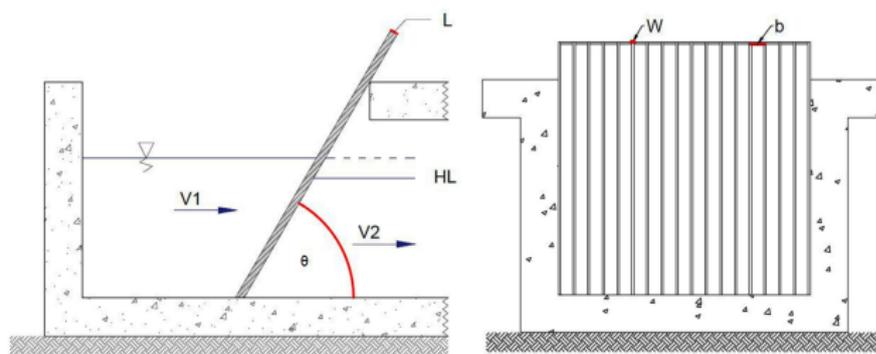
2.2.1 Screen

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 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).

Adapun prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang bisa menyebabkan kerusakan pada alat pengolahan, 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. Adapun tipe yang umum digunakan antara lain *bar rack* atau *bar screen*, *coarse woven-screen*, 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. *Bar rack* atau *bar screen* diletakkan di depan stasiun pompa atau unit pemisah pasir. Pembersihan *bar screen* dapat dilakukan secara manual atau secara mekanik. Pembersihan manual biasanya digunakan untuk IPAL dengan kapasitas kecil.



Gambar 2. 1 Manual *Bar Screen*

(Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017)

Bar screen biasanya digunakan untuk fasilitas pengolahan air limbah dengan skala sedang atau skala besar. Pada umumnya terdiri dari *screen chamber*

(bak) dengan struktur inlet dan outlet, serta peralatan saringan (*screen*). Adapun kriteria perancangan *bar screen* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 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)	4-8	8-10
Tebal (mm)	25-50	50-75
Jarak antar bar (mm)	25-75	75-85
Slope dengan horizontal (derajat)	45-60	75-85
<i>Headloss</i> yang dibolehkan, <i>clogged screen</i> (mm)	150	150
Maksimum head loss, <i>clogged screen</i> (mm)	800	800

(Sumber : Said, 2017)

Adapun rumus untuk menghitung dimensi *bar screen* adalah sebagai berikut (Qasim, 1985).

Panjang *Bar Screen* (sisi miring):

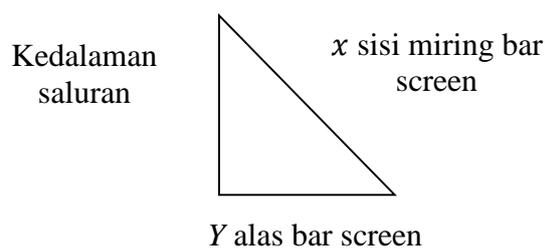
$$\sin\theta = \frac{t_{saluran}}{x}$$

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

Lebar *Bar Screen* / Jarak *Bar Screen*

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

$$y = x \times \cos\theta$$



Keterangan :

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

x = sisi miring *bar screen* (m)

y = jarak *bar screen* (m)

θ = derajat kemiringan *bar screen* (°)

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

Jumlah kisi dan batang:

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

$$\text{Jumlah Batang} = \text{Jumlah Kisi } (n) - 1$$

Keterangan :

Ws = lebar bak kontrol (m)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

d = lebar antar kisi (m)

r = jarak bukaan (m)

Lebar Bukaan Kisi

$$Wc = Ws - (n \times d)$$

Keterangan :

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Ws = lebar bak kontrol (m)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

d = lebar antar kisi (m)

Kecepatan Yang Melalui Bar Screen

$$v = \frac{Q}{(Wc \times h_{air})}$$

Keterangan :

Wc = lebar bukaan kisi (m)

Q = debit air limbah (m/s)

h_{air} = ketinggian air melalui *screen*

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

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

Dimana :

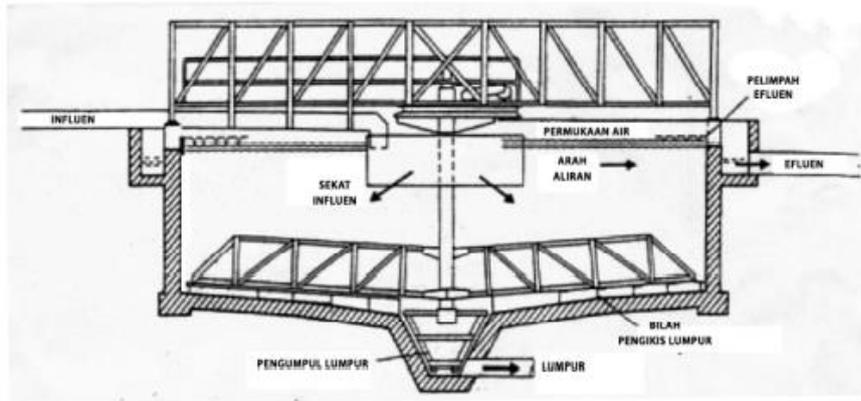
H_L = *Head loss* melalui *bar screen* (m)

- β = faktor tipe batang
 w = lebar batang (m)
 b = lebar bukaan (m)
 h_v = *velocity head* aliran melalui bukaan ($\frac{v^2}{2 \times g}$) (m)
 θ = sudut kemiringan batang terhadap horizontal (°)

2.2.2 Gravity Thickener

Gravity sludge thickener merupakan unit pemekatan berupa tangki berbentuk lingkaran dengan dasar tangki berbentuk kerucut yang dilengkapi bak pengumpul lumpur dan/atau *scraper*. Unit ini berfungsi memekatkan lumpur untuk mendapatkan konsentrasi padatan dalam lumpur yang lebih tinggi dan mengurangi volume residu yang dihasilkan. Padatan akan mengendap ke dasar tangki dengan memanfaatkan sistem gravitasi, dan *scraper* secara perlahan mendorong hasil endapan menuju pipa pembuangan yang ada di dasar tangki. Dalam menentukan waktu retensi padatan, perlu memperhatikan potensi pembentukan gas metan yang terjadi di dasar tangki. Selanjutnya, supernatan yang dihasilkan akan mengalir keluar melalui *v-notch weir* yang terletak pada sisi atas tangki menuju clarifier (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017).

Proses pemekatan pada unit ini terjadi melalui tiga proses, yang terdiri dari pengendapan secara gravitasi, pengendapan perlahan (*hindered settling*), dan pemadatan hasil endapan. Proses pengendapan secara gravitasi dimulai ketika partikel padatan yang memiliki densitas yang lebih besar dari cairan mengendap. Selanjutnya proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan densitas/ukuran sedang terjadi akibat pembentukan flok-flok partikel, peningkatan konsentrasi padatan dalam proses pembentukan flok-flok partikel akan membantu terjadinya pengendapan, proses tersebut yang disebut sebagai pengendapan perlahan (*hindered settling*). Proses selanjutnya yang terjadi pada *gravity thickener* merupakan proses pemadatan endapan, di mana padatan yang telah mengendap pada dasar tangki akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari padatan di atasnya (Metcalf & Eddy, 2003). *Gravity sludge thickener* mampu menyisihkan hingga 92% TSS dan 80% COD (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017).



Gambar 2. 2 Unit *Gravity Thickener*

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)

Adapun kelebihan unit *gravity thickener* adalah sebagai berikut.

- a. Sederhana dalam pengoperasian dan pemeliharaan
- b. Memungkinkan penggunaan ruang penyimpan lumpur yang lebih kecil.

Adapun kekurangan unit *gravity thickener* adalah sebagai berikut.

- a. Lumpur terendapkan cenderung masih mengandung kadar air yang tinggi sehingga membutuhkan proses *dewatering* lanjutan
- b. Penyisihan bakteri patogen tidak signifikan
- c. Berpotensi menimbulkan bau akibat proses anaerobik dan akumulasi scum.

Adapun kriteria desain unit *gravity thickener* adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Kriteria Desain Unit *Gravity Thickener*

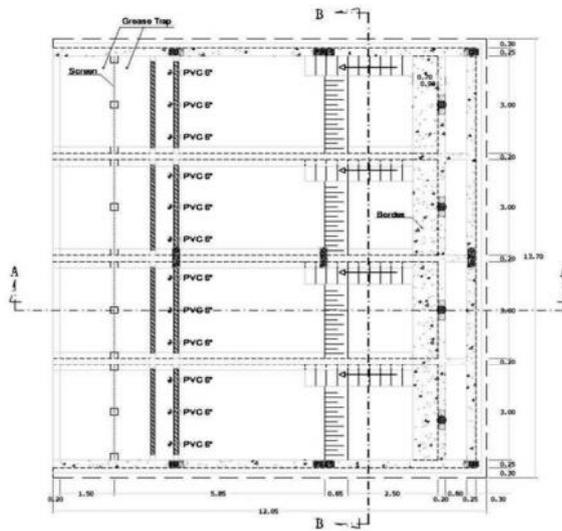
Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman	m	3-4
Waktu detensi maksimum	Jam	24
Kemiringan dasar tangki	-	(2:12)-(3:12)

(Sumber : Qasim, 1999)

2.2.3 *Solid Separation Chamber*

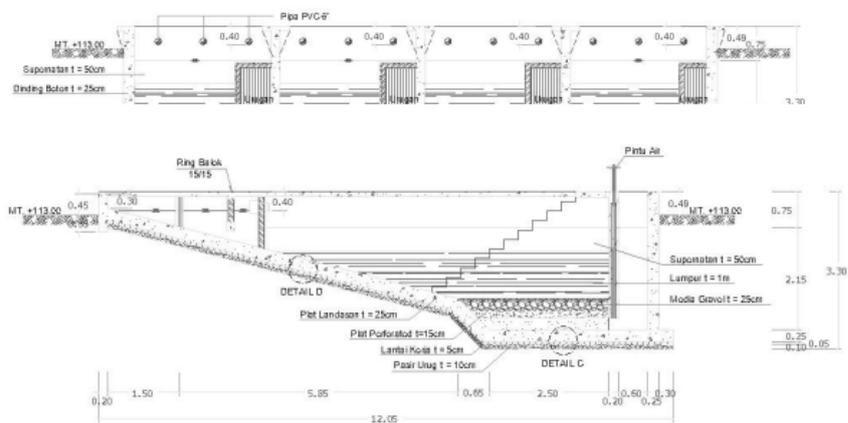
Solid Separation Chamber dan *Drying Area* merupakan alternatif unit pemekatan. Prinsip kerjanya sangat sederhana karena hanya mengandalkan proses fisik untuk pemisahan padatan dari lumpur tinja. Setelah pemisahan, dilakukan penyinaran memanfaatkan sinar matahari sebagai desinfeksi serta angin untuk pengurangan kelembaban atau pengeringan.

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 (Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017). Adapun contoh denah dan potongan SSC dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 3 Contoh Denah SSC

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)



Gambar 2. 4 Contoh Potongan SSC

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)

Adapun kriteriaan perencanaan *Solid Separation Chamber* dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Kriteria Perencanaan 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 Solid	Pi	80	%

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)

Untuk menghitung *cake* dalam perencanaan *solid separation chamber* dapat digunakan rumus sebagai berikut.

$$\rho_{\text{cake}} = \frac{\% \text{ kadar solid cake} \times \rho_{\text{solid cake}} + \% \text{ kadar air} \times \rho_{\text{air}}}{100\%}$$

$$\text{Massa cake} = \frac{100\%}{\% \text{ kadar solid cake}} \times \text{TSS Teremoval}$$

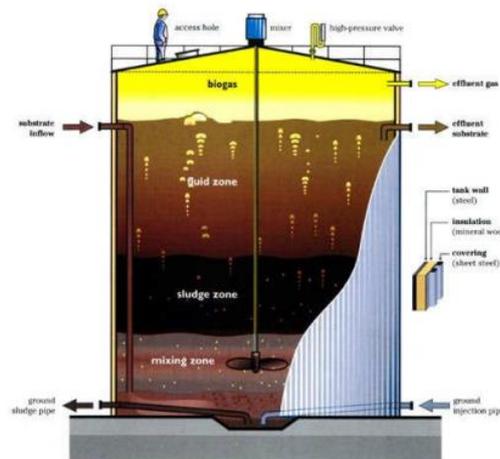
$$V_{\text{cake}} (\text{Q cake}) = \frac{\text{massa cake}}{\rho_{\text{cake}}}$$

Dengan mengetahui volume *cake* yang akan ditampung dalam SSC, maka dapat ditentukan dimensi dari unit SSC tersebut.

2.2.4 Anaerobic Digestion

Anaerobic Sludge Digester berfungsi untuk menguraikan senyawa organik yang terdapat di lumpur tinja menggunakan mikroba anaerobik berupa kolam tertutup yang dapat dilengkapi dengan pengadukan. Lumpur biologis selanjutnya diolah di unit pengolahan lumpur. Filtrat atau air hasil olahan diolah kembali melalui unit pengolahan cairan sebelum filtrat dibuang ke badan air penerima. Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* tanpa pengaduk, lumpur mikroba akan mengendap kebawah karena tidak ada pengadukan, sehingga bagian bawah dasar bak dirancang berbentuk kerucut agar mudah mengendap secara gravitasi. Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* dengan pengaduk, harus diikuti oleh unit pengolahan aerobik sebagai pelengkap (Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017).

Anaerobic Digester digunakan untuk memecah bahan organik kompleks oleh populasi mikroba tanpa adanya DO. Anaerobic digester dapat dirancang dan dikelola untuk mengoptimalkan dekomposisi bakteri dari bahan organik di bawah kondisi yang lebih terkontrol daripada laguna anaerobik. Reaktor tangki berpengaduk lengkap (CSTR) dan reaktor *plugflow* (PF) tersedia secara komersial. Anaerobic digester dapat menghasilkan sekitar 60-80% metana. Suhu sangat penting untuk produksi metana. Seperti pada proses anaerobik lainnya, dua puncak suhu optimal adalah 32–40°C (mesofilik) dan 57–68°C (termofilik). Digester mesofilik dan termofilik dioperasikan dengan waktu retensi masing-masing 12-20 hari dan 6-12 hari. Karena suhu yang lebih tinggi dapat mempersingkat waktu retensi, digester dapat dipanaskan. Digester PF membutuhkan perawatan normal. Ketika digester dioperasikan pada suhu tinggi (>120°F), digester memberikan pengolahan dan produksi biogas yang lebih baik. Namun, ada juga beberapa aplikasi yang berhasil pada suhu 60–75 °F, dengan efisiensi perawatan yang lebih rendah diimbangi dengan waktu retensi yang lebih tinggi. Waktu retensi hidraulik (HRT) dan efisiensi penyisihan untuk COD dan TSS adalah 18–20 hari, 35–70%, dan 20–45%, masing-masing. Penghilangan sebesar 99% untuk patogen juga dapat dicapai (Wang et al., 2004).



Gambar 2. 5 *Anaerobic Digester*

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)

Proses biologis dalam sistem *Anaerobic Digester* terbagi dalam tiga fase, yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis. Pada fase hidrolisis, molekul kompleks seperti protein, selulosa, lipid, dan molekul organik lainnya dilarutkan menjadi glukosa, asam amino, dan asam lemak. Selanjutnya, fase asidogenesis, organisme pembentuk asam fakultatif menggunakan energi dari materi organik terlarut untuk membentuk asam organik sehingga terjadi perubahan jumlah material organik dalam sistem dan penurunan nilai pH. Pada fase terakhir, metanogenesis, terjadi konversi asam organik volatil menjadi gas metan dan karbon dioksida. Pembentukan gas metan sangat sensitif terhadap kondisi pH, komposisi substrat, dan suhu. Jika pH turun kurang dari 6,0, pembentukan metan akan terhenti, meningkatkan jumlah asam yang terakumulasi, dan menyebabkan terhentinya proses digestion. Oleh karena itu, pengukuran pH dan asam merupakan parameter penting dalam operasional *Anaerobic Digester* (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017).

Adapun kriteria perencanaan *Anaerobic Digester* adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Kriteria *Desain Anaerobic Digester*

Parameter	Satuan	Standard-Rate	High-Rate
Waktu retensi padatan, SRT	Hari	30-60	10-20
Beban solid	KgVS/m ³ .hari	0,64-1,6	2,46-6,41
Dimensi			
- Kedalaman	m	7-14	
- Diameter	m	6-40	
- Kemiringan dasar	-	4:1	

(Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017)

2.2.5 Bak Penampung

Bak ekualisasi sebagai bak penampung (*flow equalization*) adalah metode yang digunakan untuk mengatasi masalah operasional yang disebabkan oleh variasi debit. *Flow equalization* secara sederhana adalah redaman variasi debit untuk mencapai debit konstan atau hampir konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda, tergantung pada karakteristik sistem pengumpulan.

Manfaat utama dari pemerataan aliran adalah pengolahan biologis ditingkatkan, karena beban kejut dihilangkan atau dapat diminimalkan. pemerataan aliran merupakan pilihan yang menarik untuk meningkatkan kinerja instalasi

pengolahan yang kelebihan beban. Namun, kerugiannya meliputi lahan yang relatif besar diperlukan, fasilitas pemerataan mungkin harus ditutup untuk pengendalian bau, dan biaya modal meningkat. Pompa dan kontrol pompa karena pemerataan aliran memerlukan persyaratan *head* tambahan di dalam IPAL (Metcalf & Eddy, 2003). Contoh gambar bak penampung dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Bak Penampung
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Bak penampung dapat didesain sesuai dengan debit yang direncanakan perhari dengan kedalaman ≤ 4 meter.

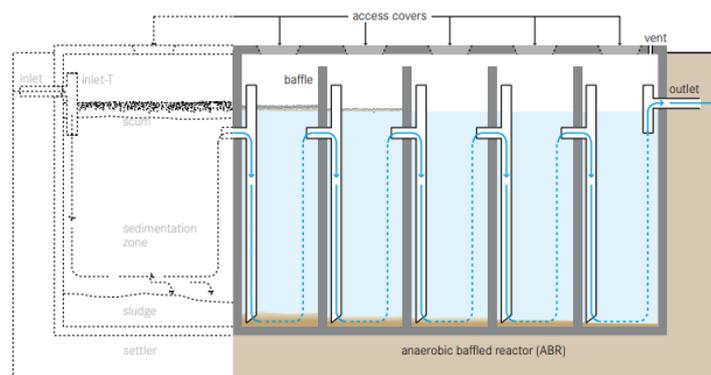
2.2.6 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

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

Ruang *upflow* memberikan peningkatan pembuangan dan pengolahan bahan organik. BOD dapat dikurangi hingga 90%, yang jauh lebih baik daripada pada *septic tank* konvensional. Pada unit ini, aliran masuk tipikal berkisar antara 2 hingga 200 m³ 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 desain unit ABR adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Kriteria Desain *Anaerobic Baffled Reactor*

Parameter	Satuan	Nilai
Debit desain	m ³ /hari	2-200
Waktu retensi hidraulik	Jam	12-96
Kecepatan upflow	m/jam	<0,6
Jumlah kompartemen	Buah	3-6
Efisiensi penyisihan		
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.

$$V \text{ zona pengendap} = Q \times \text{HRT}$$

$$H \text{ zona pengendap} = \frac{V}{A}$$

$$\text{Surface loading} = \frac{q}{A}$$

Keterangan:

$$Q = \text{debit influen (m}^3/\text{jam)}$$

$$\text{HRT} = \text{waktu retensi hidraulik (jam)}$$

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

$$A = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$

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

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

$$V \text{ ABR} = Q \times \text{HRT}$$

$$\text{Luas permukaan (A surface) upflow} = \frac{Q}{V_{up}}$$

$$\text{Panjang kompartemen downflow (L down)} = \frac{\text{Luas permukaan downflow}}{\text{Lebar kompartemen downflow}}$$

$$\text{Total volume kompartemen} = \text{Volume kompartemen upflow} +$$

$$\text{Volume kompartemen downflow}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = \frac{\text{Volume ABR}}{\text{Volume total kompartemen}}$$

Total volume aktif *baffled area*

$$= (\text{Panjang kompartemen Upflow} + \text{Downflow}) \times \text{Lebar Kompartemen} \times \text{Kedalaman}$$

Efektif x jumlah kompartemen

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

Keterangan:

$$Q = \text{debit influen (m}^3/\text{jam)}$$

$$\text{HRT} = \text{waktu retensi hidraulik (jam)}$$

$$V_{up} = \text{kecepatan upflow (m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$

<i>Surface loading</i>	= beban permukaan ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$)
OLR COD	= <i>Organic Loading Rate</i> COD ($0,1-8 \text{ kg COD}/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$)
<i>Organic load</i>	= beban organik (kg/hari)

2.2.7 Kolam Aerasi

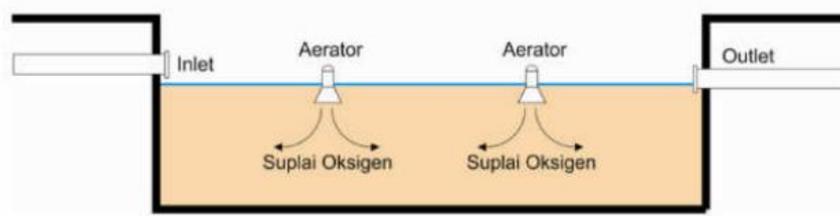
Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Proses aerasi yang dilakukan secara mekanis berpotensi meningkatkan efisiensi degradasi material organik dan penyisihan bakteri patogen dengan waktu retensi yang relatif 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) jangkauan (radius) pengadukan;
- c) jangkauan (radius) dispersi oksigen; dan
- d) jangkauan kedalaman

Adapun gambar kolam aerasi dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2. 8 Kolam Aerasi

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)

Adapun kriteria perencanaan kolam aerasi dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut.

Gambar 2. 9 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
Temperature	⁰ C	0-30
Temperature optimum	⁰ C	20
Beban BOD	kg/ha.hari	-
Efisiensi penyisihan BOD	%	80-95
Hasil konversi BOD yang utama		CO ₂ , bakteri, jaringan sel
Konsentrasi alga	mg/l	-
Padatan tersuspensi (SS) di dalam efluen*	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.

Adapun langkah-langkah perhitungan desain kolam aerasi adalah sebagai berikut.

Mengasumsikan konsentrasi BOD efluen dengan cara sebagai berikut.

a. Mengasumsikan konsentrasi BOD efluen

$$Se = \frac{Li}{1+KT \cdot \theta}$$

Keterangan:

S_e = BOD terlarut efluen (mg/l)

L_i = konsentrasi BOD influen (mg/l)

K_T = konstanta laju orde pertama untuk penyisihan BOD (/hari)

Θ = waktu retensi (hari)

Nilai K_T dapat dihitung dengan rumus:

$$K_T = 2,5 \times 1,06^{(T-20)}$$

Selanjutnya, menghitung konsentrasi sel bakteri dalam kolam aerasi dengan rumus sebagai berikut.

$$X = \frac{Y(L_i - S_e)}{1 + b \cdot \theta}$$

Keterangan:

X = konsentrasi sel bakteri (mg/l)

Y = koefisien *yield* (biasanya 0,6-0,7)

b = laju hidrolis, /hari ($b = 0,07$ /hari pada suhu 20°C)

Dengan demikian, didapatkan total konsentrasi BOD efluen (L_e):

Total konsentrasi BOD efluen (L_e):

$$L_e = S_e + 0,94 X$$

b. Menentukan dimensi kolam aerasi

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

V = Volume (m^3)

Q = debit influen (m^3 /hari)

T_d = waktu tinggal (hari)

c. Menghitung kebutuhan aerasi dan daya *aerator*

Estimasi kebutuhan oksigen teoritis untuk penyisihan BOD:

$$R_{O_2} = [1,5(L_i - S_e)Q - 1,42XQ \times 10^{-3}/24]$$

Estimasi jumlah kebutuhan oksigen teoritis untuk nitrifikasi:

$$R_{O_2} = 3,1(C_i - C_e)Q \times 10^{-3}/24$$

Keterangan:

C_i = konsentrasi ammonia influen (mg/l)

C_e = konsentrasi ammonia efluen (mg/l)

Menghitung kebutuhan daya *aerator*

Diasumsikan aerator memiliki standar 1,8 kgO₂/kWh

$$O_L = O_0 \alpha 1,024^{(T-20)} \frac{\beta \times C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}}$$

Keterangan:

O_L = laju transfer oksigen

O₀ = laju transfer oksigen ketika pengujian

α = rasio laju transfer oksigen dalam air limbah terhadap air keran pada suhu yang sama (umumnya untuk air limbah domestik, α = 0,8)

β = rasio konsentrasi kelarutan oksigen dalam air limbah terhadap air terdistilasi (umumnya untuk air limbah domestik β = 0,95)

C_{S(T,A)} = konsentrasi kelarutan oksigen dalam air terdistilasi pada suhu T dan altitude A.

C_{S(20,0)} = konsentrasi kelarutan oksigen dalam air terdistilasi pada suhu 20o C dan pada ketinggian permukaan laut (altitude) (= 9,08 mg/l)

C_L = konsentrasi DO dalam kolam (1-2 mg/l)

Daya yang dibutuhkan *aerator* untuk bio-oksidasi = $\frac{RO_2}{O_L}$ kW

Keterangan:

RO₂ = kebutuhan oksigen total

O_L = laju transfer oksigen

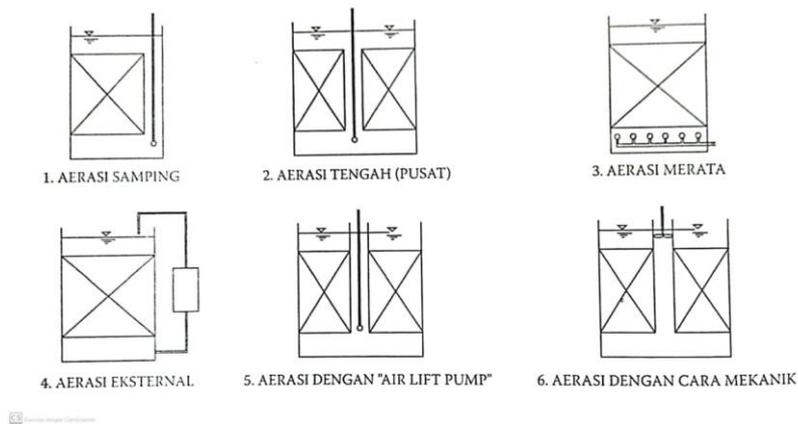
2.2.8 Biofilter Aerob

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilm atau biofilter tercelup dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Pada proses biofilter aerobik dilakukan dengan pemberian udara atau oksigen. Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya, akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam

lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur, bentuk papan (plat), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sementara itu, untuk media dari bahan anorganik misalnya adalah batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya.

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift pump", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.



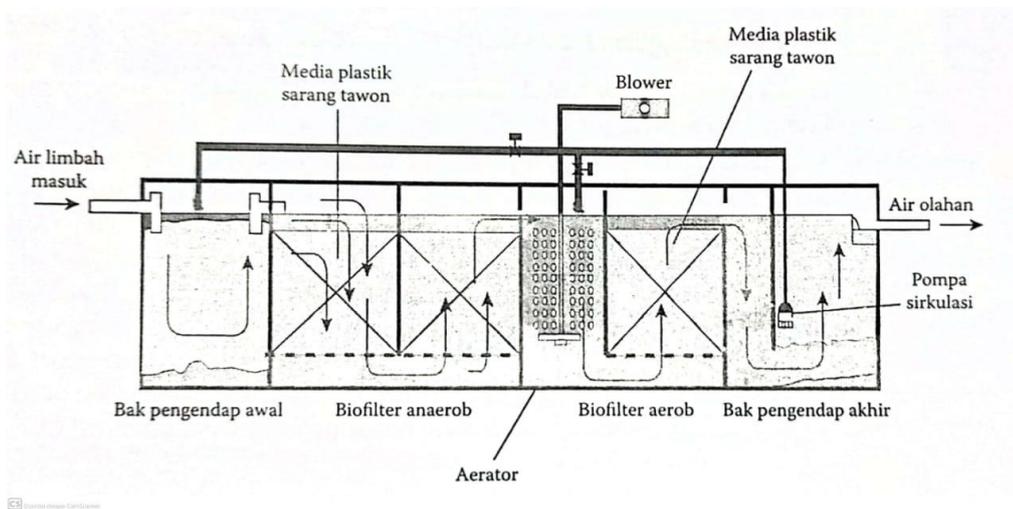
Gambar 2. 10 Metode Aerasi Biofilter Aerob

(Sumber: Said, 2017)

Di dalam proses biofilter dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi di dalam sistem aerasi melalui aliran

putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi dengan menggunakan difuser, sehingga penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Berdasarkan hal tersebut di atas belakangan ini penggunaan sistem aerasi merata banyak dilakukan karena mempunyai kemampuan penyerapan oksigen yang besar.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka kemampuan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang besar pula. Karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (short pass) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis (Said, 2017).



Gambar 2. 11 Contoh Penggunaan Unit Biofilter Aerob
(Sumber: Said, 2017)

Adapun kriteria perencanaan biofilter aerob adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 6 Kriteria Perencanaan Biofilter Aerob

Parameter	Satuan	Nilai
Beban BOD per satuan permukaan media (LA)	g BOD/m ² .hari	5-30
Beban BOD per m ³ media	kg BOD /m ³ .hari	0,5-4
Waktu tinggal total rata-rata	Jam	6-8
Tinggi ruang lumpur	m	0,5
Tinggi bed media pembiakan mikroba	m	1,2
Tinggi air di atas bed media	cm	20

(Sumber: Said, 2017)

Adapun contoh media yang dapat digunakan sebagai pembiakan mikroba adalah media tipe sarang tawon (*crossflow*) dengan kriteria sebagai berikut (Said, 2017).

- a. Tipe media : Sarang tawon (*crossflow*)
- b. Material : PVC sheet
- c. Ketebalan : 0,15-0,23 mm
- d. Luas kontak spesifik : 150-226 m²/m³
- e. Diameter lubang : 2 cm x 2 cm
- f. Berat spesifik : 30-35 kg/m³
- g. Porositas rongga : 0,98

2.2.9 Bak Pengendap Akhir

Sedimentasi adalah pemisahan padatan-cairan menggunakan pengendapan gravitasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Bak sedimentasi biasanya dibuat dari beton bertulang dan dapat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau persegi panjang sesuai perencanaan (Reynold & Richards, 1996).

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung sehingga mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah. Tangki sedimentasi primer yang dirancang dan dioperasikan secara efisien tanpa penambahan bahan

kimia dapat menghilangkan 50-70% padatan tersuspensi dan 25-40% BOD. Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: *surface loading* (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf dan Eddy, 2003). Adapun kriteria perencanaan sedimentasi berbentuk circular adalah sebagai berikut. Bak pengendap akhir didesain berbentuk rectangular dengan kriteria desain sebagai berikut (Said, 2017).

Waktu tinggal di dalam bak	=	2 – 4 jam
Beban permukaan (<i>surface loading</i>)	=	20-50 m ³ /m ² .hari
Beban weir atau weir loading	=	<250 m ³ /m.hari

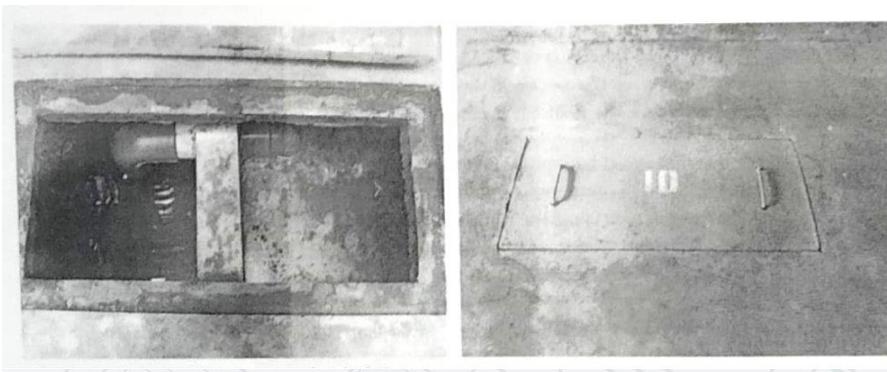
Sumber: Said, 2017, Teknologi Pengolahan Air Limbah, hal. 232.

Tabel 2. 7 Kriteria Desain Bak Pengendap Akhir

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu tinggal di dalam bak	jam	2-4
Beban permukaan (<i>surface loading</i>)	m ³ /m ² .hari	20-50
<i>Weir loading</i>	m ³ /m.hari	<250
Kedalaman	m	2,5-4
Slope dasar	mm/mm	1/100-2/100
Tinggi ruang bebas	cm	40-60
Diameter pipa lumpur	mm	>200

(Sumber: Said, 2017)

Adapun contoh gambar bak pengendap akhir dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2. 12 Bak Pengendap Akhir

(Sumber: Said, 2017)

Untuk mendesain bak pengendap akhir, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut (Said, 2017).

$$V = Q \times T_d$$

$$\text{Surface loading} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

V = volume bak pengendap akhir (m³)

Q = debit influen (m³/jam)

T_d = waktu tinggal (jam)

A = luas permukaan bak (m²)

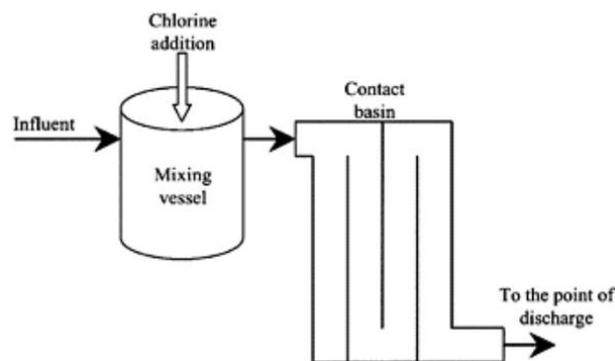
2.2.10 Disinfeksi

Metode dan cara disinfeksi disinfeksi paling sering dilakukan dengan menggunakan (1) bahan kimia, (2) bahan fisik, (3) cara mekanis, dan (4) radiasi. 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 deterjen sintesis, (10) senyawa amonium kuartener, (11) hidrogen peroksida, (12) asam perasetat, (13) berbagai alkali, dan (14) berbagai asam. Disinfektan yang paling umum adalah bahan kimia pengoksidasi, dan klorin adalah yang paling umum digunakan (Metcalf dan Eddy, 2003).

Mekanisme utama disinfektan 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 deterjen mengubah permeabilitas membran 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 RVA 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 disinfektan dalam menerapkan agen atau sarana disinfektan yaitu (1) waktu kontak, (2) konsentrasi disinfektan, (3) intensitas dan sifat fisik agen atau sarana, (4) suhu, (5) jenis organisme, dan (6) sifat cairan pensuspensi (Metcalf dan Eddy, 2003). Skema disinfeksi klor dapat dilihat pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. 13 Skema Sistem Klorinasi

(Sumber: Wang et al, 2004)

Adapun langkah perhitungan desain unit disinfeksi adalah sebagai berikut.

a. Menentukan kebutuhan klorin

Dosis klorin:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{CR \times \text{waktu kontak}}{b} \right)^{-n}$$

Keterangan:

b = 4 tipikal

n = 2,8 tipikal

(N₀) = Total koliform masuk

(N) = Total koliform keluar

$$\text{Dosis Pembubuhan} = [\text{Cl}_2] \text{ out} + [\text{Cl}_2] \text{ decay} + C_R$$

Keterangan:

$[\text{Cl}_2] \text{ out}$ = kadar Cl_2 sisa (d disesuaikan dengan baku mutu)

$[\text{Cl}_2] \text{ decay}$ = Klorin rusak selama klorinasi

$$\text{Jumlah kaporit diperlukan} = Q \times \text{Dosis pembubuhan} \times \frac{1}{\text{klor aktif}}$$

$$\text{Volume kaporit} = \frac{\text{Massa kaporit}}{\text{Densitas kaporit}}$$

$$\text{Massa pelarut} = \frac{(100\% - \% \text{konsentrasi larutan})}{\% \text{konsentrasi larutan}} \times \text{massa kaporit}$$

$$\text{Volume pelarut} = \frac{\text{Massa pelarut}}{\text{Densitas pelarut}}$$

$$\text{Volume larutan} = \text{Volume kaporit} + \text{Volume pelarut}$$

$$\text{volume tangki pelarut} = \text{Volume larutan/hari} \times \text{periode pelarutan}$$

b. Menentukan dimensi bak kontaktor klor

$$V \text{ bak} = (Q \text{ air limbah} + Q \text{ larutan desinfektan}) \times T_d$$

2.2.11 *Sludge Drying Bed*

Sludge Drying Bed merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah. *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 adalah 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.

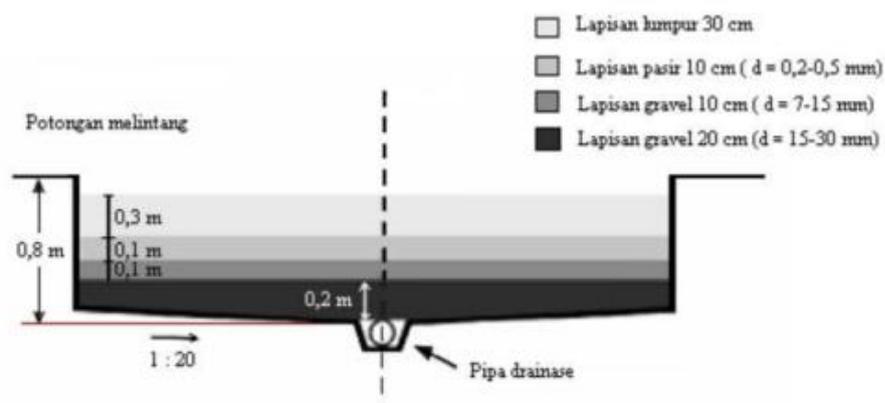
Conventional Sand Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/*sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur diletakkan pada kolam yang memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut 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. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6 m-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380 mm-460 mm. 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).

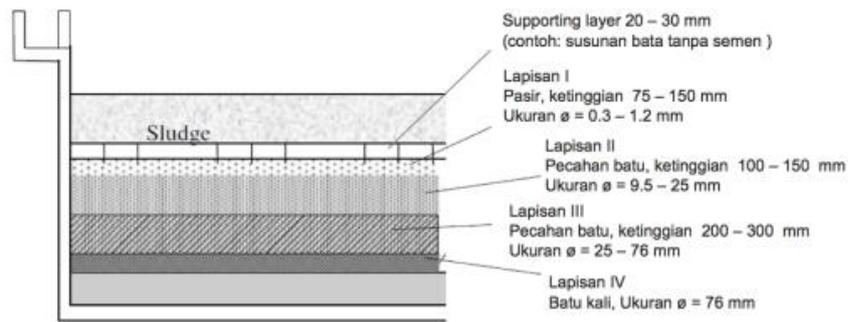
Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah *sludge* mengering. *Sludge*/lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam lumpur 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 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{tahun}$) (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun contoh dan skema *sludge drying bed* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 14 *Sludge Drying Bed*

(Sumber: Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017)



Gambar 2. 15 Skema *Sludge Drying Bed*

(Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017)

Adapun kriteria perencanaan *sludge drying bed* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 8 Kriteria Perencanaan *Sludge Drying Bed*

Parameter	Satuan	Nilai
Ukuran Bak		
Lebar	m	8
Panjang		30
Area yang dibutuhkan		
SDB tanpa penutup atap	m ² /kapita	0,14-0,28
SDB dengan penutup atap		0,1-0,2
<i>Sludge loading rate</i>		
SDB tanpa penutup atap	kg lumpur kering/m ² .tahun	100-300
SDB dengan penutup atap		150-400
<i>Sludge cake</i>	-	20-40% padatan
Kemiringan dasar	-	1:20
Kemiringan dasar pipa	%	1

(Sumber: Qasim, 1999)

Untuk menghitung volume *cake sludge* maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Volume } \textit{cake sludge} (V_i) = \frac{V \times (1-P)}{1-P_i}$$

Keterangan:

V = Volume lumpur total (m³)

P = Kadar air dalam lumpur (%)

Pi = Kadar air dalam *cake* (%)

2.3 Persen Removal

Adapun persen removal pada masing-masing unit pengolahan limbah lumpur tinja dari berbagai sumber dapat dilihat pada Tabel 2. 9 berikut.

Tabel 2. 9 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Parameter	Kemampuan penyisihan	Sumber
<i>Solid Separation Chamber</i>	TSS	80%	Republik Indonesia. Lampiran II Permen PU No. 04 Tahun 2017. Hal 59.
<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	TSS	80-90%	Dirjen Cipta Karya. 2017. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja. Hal 74.
	BOD	70-95%	
	COD	65-90%	
Kolam aerasi	BOD	80-95%	Said. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 327.
	COD	*)	Sasse. 1988. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. Hal 127.
	Amoniak	**)	Dirjen Cipta Karya. 2017. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja. Hal 87.

Unit Pengolahan	Parameter	Kemampuan penyisihan	Sumber
Bak Pengendap Akhir	TSS	50-70%	Tilley, et al. 2014.
	BOD	20-40%	Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Hal 102
Disinfeksi	Koliform	98-99,999%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. Hal 1221

(Sumber: Hasil analisis, 2022)

Keterangan:

*) Persentase penyisihan COD dapat diketahui menggunakan grafik hubungan persen removal BOD terhadap persen removal COD.

**) Persentase penyisihan amoniak dapat ditentukan oleh perencana karena berhubungan dengan kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam kolam aerasi.

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis "*hidrolik grade line*" dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut.

a. 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 kehilangan tekanan pada saluran terbuka, kehilangan tekanan pada bak, kehilangan tekanan pada pintu, dan kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya yang harus di hitung.

b. Kehilangan tekanan pada perpipaan.

Untuk membuat profil hidrolis juga harus memperhatikan kehilangan tekanan pada perpipaan antarunit dan aksesoris perpipaan serta kehilangan tekanan pada pompa yang digunakan.

c. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi karena kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan atau dalam pelaksanaan pembangunan sehingga dapat mempengaruhi proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup dan tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Jika elevasi muka air suatu bangunan lebih tinggi dari elevasi muka air bangunan sebelumnya, maka diperlukan pompa untuk menaikkan air tersebut.