

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Air Buangan

2.1.1. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

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

Menurut Suparmin (2003), angka COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dioksidasi oleh proses mikrobiologis yang mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut (DO) dalam air. Penyebab tingginya COD dapat diakibatkan oleh tingginya kandungan bahan organik dalam air mengakibatkan oksigen terlarut dalam air sangat rendah sehingga angka COD menjadi tinggi (Wardana W, 2004).

2.1.2. *Ammonia (NH₃)*

Amoniak NH₃ berasal dari oksidasi zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air buangan industri dan penduduk. Kadar amoniak tinggi selalu menunjukkan pencemaran. Rasa dan bau amoniak kurang sehingga kadar amoniak harus rendah. Melalui proses nitrifikasi biologis, amonia (NH₃) dioksidasi menjadi nitrit (NO₂⁻) dan nitrat (NO₃⁻) oleh bakteri autotrofik aerobik. Hasil akhir dari proses nitrifikasi, yaitu nitrat (NO₃⁻) dapat direduksi menjadi gas nitrogen (N₂) melalui proses denitrifikasi dalam kondisi anoksik. (S.R.M. Kutty, M.H. Isa and L.C. Leong, *Removal of Ammonia-Nitrogen (NH₃-N) and Nitrate (NO₃⁻) by Modified Conventional Activated-Sludge System to Meet New D.O.F Regulations*)

Nitrogen amonia adalah amunisi nitrogen yang hadir dalam bentuk amonia (NH₃) atau ion amonia (NH₄⁺). Nitrit (NO₂⁻) adalah jumlah nitrogen dalam bentuk ion nitrit. Nitrat (NO₃⁻) adalah jumlah nitrogen yang ada dalam bentuk nitrat.

Nitrogen amonia, nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) dalam air limbah kota berasal dari bentuk senyawa organik, seperti protein dan urea atau produk degradasi mereka, dan berevolusi dari penguraian oleh bakteri dari bahan-bahan tersebut. (Tom D. Reynold, 1996)

2.1.3. Total *Khedahl* Nitrogen (TKN)

TKN digunakan untuk mengukur kadar nutrient dan rasio kemampuan dekomposisinya dalam air limbah, wujud yang teroksidasi dapat digunakan sebagai acuan untuk mengukur derajat oksidasi. TKN terdiri dari N^+ dan NH_4^+ . Nitrogen organik (N total) adalah jumlah N organik dan N amoniak bebas. Analisa N organik umumnya hanya dilaksanakan pada sampel air yang diduga mengandung zat organik. Jika dikalikan faktor konversi nilai N total bisa dinyatakan sebagai kandungan protein zat organik (Wagiman, 2014). Prinsip dari proses Analisa TKN adalah mengubah zat organik yang mengandung Nitrogen menjadi Amoniak.

2.1.4. *Fluoride*

Fluor yang juga dikenal dengan nama fluorin merupakan unsur kimia yang berupa gas pada suhu kamar (25°C), berwarna kuning kehijauan dan merupakan unsur yang sangat reaktif juga dilambangkan dengan huruf F. Letaknya dalam tabel periodik adalah pada golongan VIIA dan periode 2, jadi dapat dikatakan bahwa terdapat pada kelompok unsur halogen. Nomor atomnya adalah 9, dengan massa atom relatifnya adalah 19 gr/mol. Titik leburnya adalah pada suhu $-219,6^\circ\text{C}$, sedangkan titik didihnya adalah pada suhu $-188,13^\circ\text{C}$. Fluor merupakan unsur nonlogam yang paling elektronegatif, oleh sebab itu juga merupakan unsur yang paling reaktif.

Proses industri yang melibatkan penggunaan *fluoride* adalah salah satu sumber pencemaran *fluoride*. Air *fluoride* sering dihasilkan selama proses manufaktur, dan jika air yang dibuang ke saluran air atau kurang ditahan, dapat menyebar ke dalam lingkungan alam. Selain muncul di perairan, fluor juga mungkin muncul di dalam tanah, berpotensi merusak tanaman. Limbah fluoride juga bisa solid, dalam hal pembuangan yang tidak tepat dapat mengakibatkan pencucian *fluoride* pada air buangan Industri Pupuk Phonska, NPK adalah 100

mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar *fluoride* yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L. (Peraturan Gubernur No 72 Tahun 2013)

2.2. Bangunan Pengolahan Air Buangan

Pengolahan air limbah mempunyai beberapa tahapan pengolahan air, Tahapan pengolahan air limbah ini, yaitu *preliminary treatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, *tertiary treatment*, dan *sludge treatment*. Menurut Ragiliyah, 2017 Tahapan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

1. Preliminary treatment

Preliminary treatment adalah proses untuk memisahkan kotoran kasar dan pasir. Kotoran dan pasir dapat dipisahkan dengan screening, dan grit removal. Proses ini penting karena dapat berfungsi untuk meningkatkan operasi dan pemeliharaan atau perawatan unit selanjutnya. Alat pengukuran aliran, saluran pengatur debit tetap juga diperlukan pada tahap perawatan ini.

2. Primary treatment

Primary treatment adalah proses untuk menghilangkan padatan organik dan anorganik yang dapat mengendap dengan menggunakan proses sedimentasi dan pengapungan material (sampah) dengan cara *skimming*. Persentase removal dapat mencapai hingga 50% dari BOD₅, 70% padatan tersuspensi dan 65% lemak dan minyak yang dapat dihilangkan pada tahap ini. Beberapa nitrogen organik, organik fosfor, dan logam berat juga dihilangkan. Namun untuk komponen koloid dan terlarut tidak dapat dihilangkan pada tahap ini. Effluent dari unit sedimentasi primer disebut juga sebagai limbah primer.

3. Secondary treatment

Secondary treatment adalah proses pengolahan lebih lanjut dari Effluent primer yang berfungsi untuk menghilangkan residu organik dan padatan tersuspensi dan juga bahan organik terlarut dan koloid yang terurai secara *biodegradable* dihilangkan menggunakan proses pengolahan biologis aerobik. Proses penghilangan bahan organik adalah dengan meremoval senyawa nitrogen dan senyawa fosfor dan mikroorganisme patogen.

4. *Tertiary treatment*

Tertiary treatment adalah pengolahan tersier atau pengolahan lanjutan yang dilakukan apabila terdapat komponen air limbah khusus yang tidak dapat dihilangkan dengan hanya menggunakan pengolahan sekunder. Pengolahan ini mampu menghilangkan kandungan nitrogen, fosfor, logam berat, *biodegradable* organik, bakteri, dan virus dalam jumlah besar. Perawatan lanjutan menghilangkan sejumlah besar nitrogen, fosfor, logam berat, *biodegradable* organik, bakteri, dan virus. Pada tahap ini diantaranya yaitu, desinfeksi dengan injeksi klorin, ozon, dan penyinaran ultraviolet (UV) dapat dilakukan untuk membuat air memenuhi standar baku mutu internasional pada saat ini khususnya dalam bidang pertanian dan penggunaan kembali limbah kota.

5. *Sludge drying bed*

Sludge drying bed adalah metode yang paling banyak digunakan dari dewatering lumpur di USA. *Sludge drying bed* biasanya digunakan untuk menguraikan biosolids yang telah dicernihkan dan diendapkan dari pabrik yang menggunakan proses perlakuan extended activated sludge sebelum pre thickening. setelah dikeringkan, padatan dibuang di landfill atau digunakan sebagai pemanfaatan maintenance tanah.

2.2.1. Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Proses pengolahan secara fisik untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung maupun kotoran yang berukuran besar atau sedang yang terbawa air limbah agar mempercepat proses pengolahan berikutnya. Tujuan dari pengolahan pendahuluan adalah menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Unit *pre-treatment* untuk industri adalah sebagai berikut:

2.2.1.1. Saluran Pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang berfungsi untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari suatu bangunan ke bangunan pengolahan limbah lainnya. Saluran pembawa pada umumnya menggunakan bahan beton dengan penampang persegi. Saluran pembawa dapat dibedakan menjadi saluran terbuka dan saluran tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan

beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Diperlukan kemiringan/slope, apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar.

2.2.1.1. Penyaringan (*Screening*)

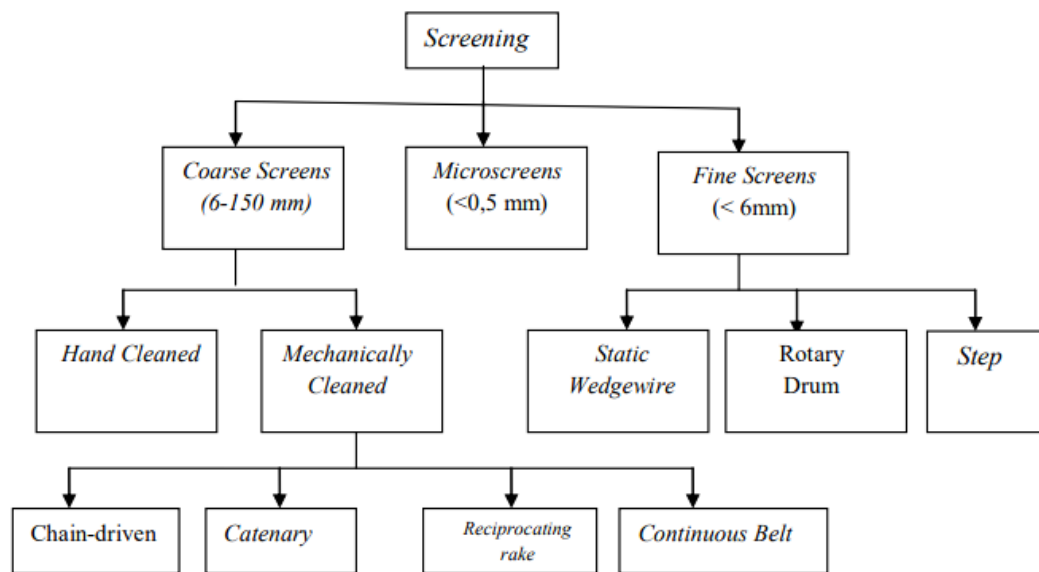
Screening merupakan unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan. *Screen* adalah alat berongga yang memiliki ukuran seragam dan digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf and Eddy, 2004).

Menurut Metcalf and Eddy (2004) Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan hal-hal sebagai berikut:

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

Secara umum *screen* dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu coarse screen, fine screen dan microscreen. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf and Eddy, 2004).

Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. (Metcalf and Eddy, 2004).

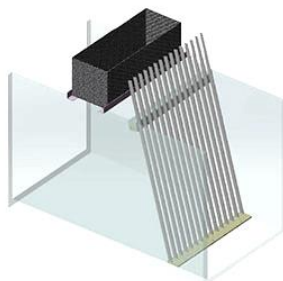


Gambar 2. 1 Jenis-jenis Screen

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2004).

1. Coarse Screen (Penyaring Kasar)

Pada proses pengolahan air limbah, penyaring kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Dalam proses pembersihannya, bar screen terbagi menjadi dua, yaitu secara manual maupun mekanik. Pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. (Metcalf and Eddy, 2004).



(a)



(b)

Gambar 2. 2 Screen dengan Pembersihan Secara Manual (a) dan Mekanik (b)

Terdapat kriteria perencanaan untuk mendesain *coarse screens*, terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Coarse Screens

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

(Sumber: Metcalf And Eddy, 2004)

2. Fine Screen (Penyaring Halus)

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari effluent yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses *trickling filter*. Adapun ukuran padatan yang dapat disisihkan dalam proses penyaring halus (*Fine Screen*) adalah padatan yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2004). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Preliminary Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya

memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm. Adapun kriteria perencanaan penyaring halus (*Fine Screen*) di antaranya sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria Perencanaan Penyaring Halus (*Fine Screen*)

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
<i>Drum</i> (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	Mm		
	Halus		6×10^{-3} – 35×10^{-3}	<i>Stainless steel</i> dan kain	Menyisihkan

<i>Drum</i> (Berputar)				<i>polyester</i>	residual dari <i>suspended</i> <i>solid</i> <i>sekunder</i>
<i>Horizontal</i> <i>Reciprocating</i>	Sedang	0,06- 0,17	1,6-4	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan Dengan saluran air hujan
<i>Tangential</i>	Halus	0,04 75	1,2	Jala-jala yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan

(Sumber: Metcalf And Eddy, 2004)

Adapun kemampuan penyisihan dari masing-masing *Fine Screen* akan dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Kemampuan Penyisihan *Fine Screen*

Jenis Screen	Ukuran Bukaan		Kemampuan Penyisihan (%)	
	Inchi	Mm	BOD	TSS
<i>Fixed Parabolic</i>	0,062 5	1,6	5-20	5-30
<i>Rotary Drum Screen</i>	0,01	0,25	25-50	25- 45

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2004)





3. *Micro screen*

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi *microscreen* berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%. Prinsip yang digunakan pada jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang

diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan *microscreen* tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf & Eddy, 2004).

Jenis screen yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah coarse screen dengan jenis pembersihan manual. Adapun faktor bentuk screen antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Faktor Bentuk Screen

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

(Sumber: Qasim, 1985)

2.2.1.2. Bak Penampung

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

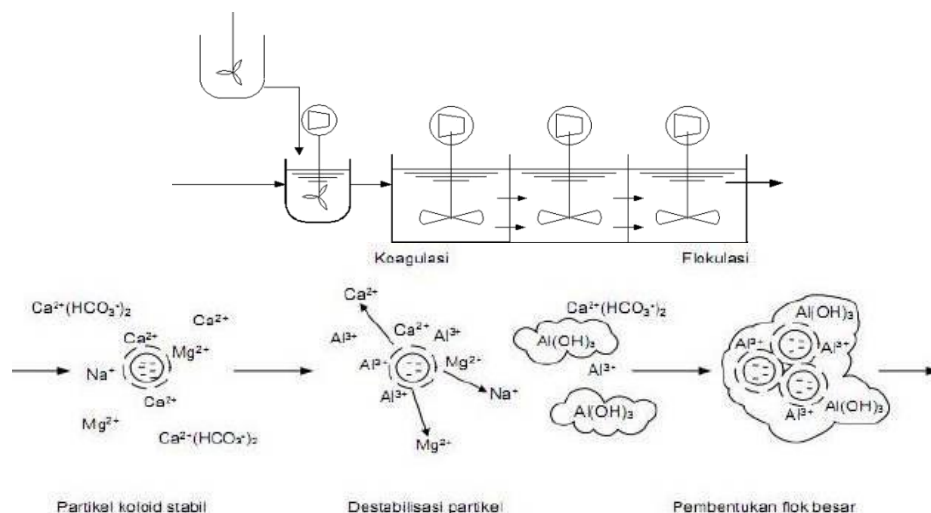
Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

2.2.2. Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

2.2.2.1. Koagulasi – Flokulasi

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

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



Gambar 2. 3 Proses Koagulasi-Flokulasi

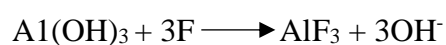
Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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

Senyawa $Al_2(SO_4)_3$ disebut juga tawas, dan tawas tersebut merupakan bahan koagulan yang paling banyak digunakan. Selain itu tawas juga cukup efektif untuk menurunkan kadar fluor. Menurut Degremont (2007:1321), Digital Repository Universitas Jember 28 pemakaian tawas yang semakin banyak, pH makin turun karena hasilnya asam sulfat, sehingga perlu dicari dosis tawas optimum yang harus ditambahkan. Menurut Alaert & Santika (1984:87), hidrosa atom Al dalam air menurut reaksi umum adalah sebagai berikut:



Apabila tawas ditambahkan ke dalam air, pada dasarnya dua reaksi terjadi. Dalam reaksi pertama, tawas bereaksi dengan beberapa alkalinitas untuk menghasilkan aluminium hidroksida ($Al(OH)_3$). Dalam reaksi kedua, apabila tawas dalam bentuk aluminium hidroksida bereaksi dengan ion *fluoride* di dalam air, maka aluminium mengikat fluor (Meenakshi & Maheshwari, 2006:hal460). Reaksi antara aluminium hidroksida dengan fluor dapat di jelaskan sebagai berikut:



Sumber: Shimelis *et al*, 2006



Gambar 2. 4 Jar Test

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

1. Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik^{-1}) selama 5 hingga 60 detik atau nilai Gt_d (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan t_d bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.

Untuk proses koagulasi-flokulasi:

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

Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

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

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

- Waktu detensi = 0,5 - 6 menit

- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan pneumatis

2. Pengadukan Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai Gt_d (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut:

Untuk air sungai:

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

Untuk air waduk:

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

Untuk air keruh:

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

Untuk flokulator 3 kompartemen:

- G kompartemen 1 : nilai terbesar
- G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1
- G kompartemen 3 : nilai terkecil

Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

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

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

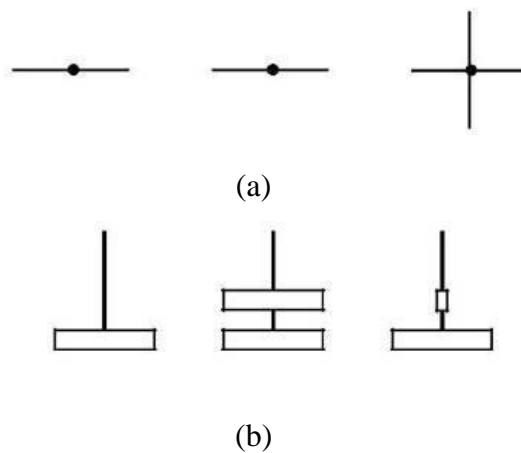
- Waktu detensi = 15 - 30 menit
- $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
- $GTd = 10.000 - 100.000$

Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis

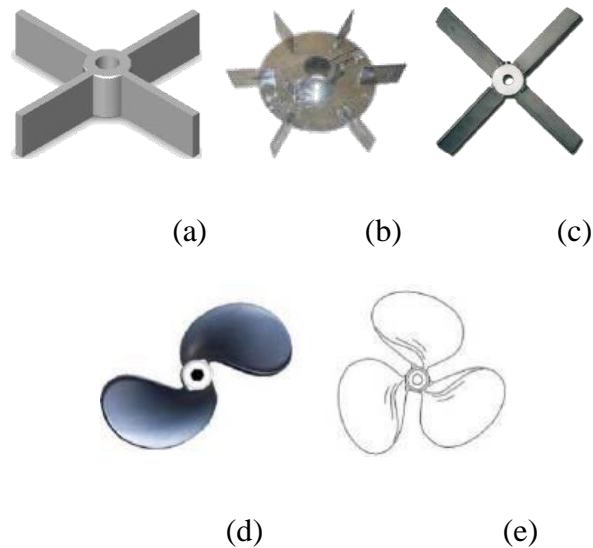
3. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Bentuk ketiga *impeller* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 5 Tipe paddle (a) tampak atas, (b) tampak samping

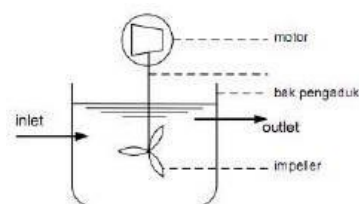
(Sumber: Qasim, 1985)



Gambar 2. 6 Tipe turbine dan propeller: (a) turbine blade lurus. (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbine dengan blade menyerong, (d) propeller 2 blades, (e) propeller 3 blade

(Sumber: Qasim, 1985)

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



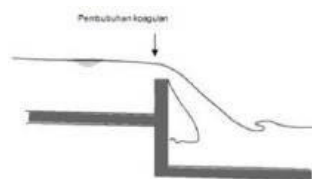
Gambar 2. 7 Pengadukan Cepat Dengan Alat Pengaduk

4. Pengadukan hidrolis

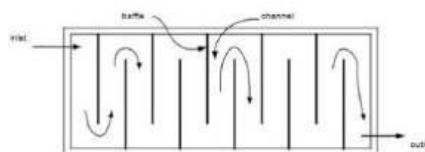
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).

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

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*baffled channel*, Gambar 2.11), *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2. 8 Pengadukan Cepat Dengan Terjunan

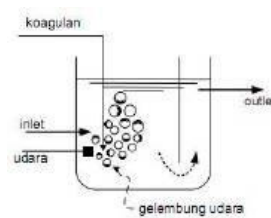


Gambar 2. 9 Denah Pengadukan Lambat Dengan Baffled Channel

5. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas)

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

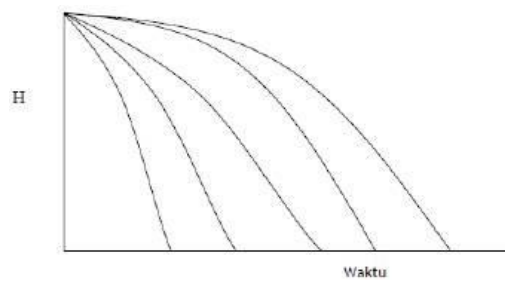


Gambar 2. 10 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

2.2.2.2. Bak Pengendap I

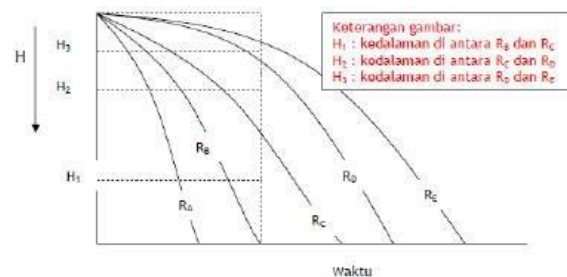
Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan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

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



Gambar 2. 11 Grafik Isoremoval

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besar penyisihan total pada waktu tertentu. Tarik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tentukan kedalaman H_1 , H_2 dst (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012).



Gambar 2. 12 Grafik Penentuan kedalaman H_1 , H_2

Rumus yang dapat digunakan adalah :

$$R_T = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D)$$

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

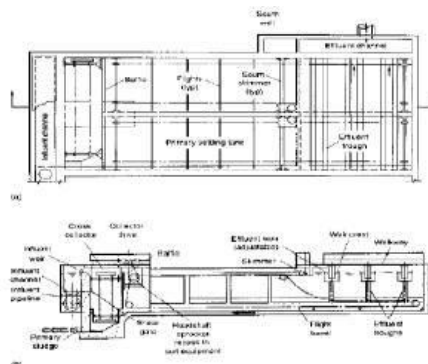
Kedua grafik ini dapat digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (t_d) dan *overflow rate* (V_0) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen (*batch*). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain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

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

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

Desain dari bak pengendap I ada beberapa jenis, yaitu:

a. Bak Persegi (Rectangular Tanks)



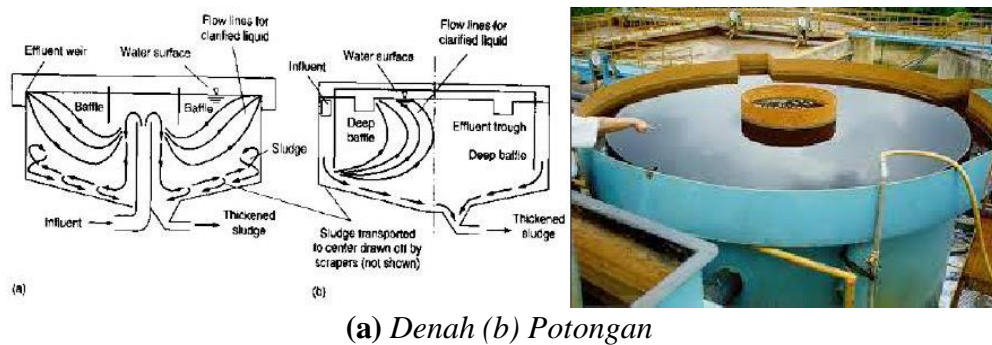
Gambar 2. 13 Bak Pengendap I (a) Denah (b) Potongan

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk:

1. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
2. Saluran inlet dengan port dan orifice,
3. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*.

b. Bak Lingkaran



Gambar 2. 14 Jenis Bak Pengendap I Berbentuk Lingkaran

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Pada tangki sirkular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

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 & Eddy, 2003).

Pada umumnya aliran air pada tangki sedimentasi mempunyai sistem *up-flow* yaitu air mengalir dari bawah ke atas secara vertikal menuju ke tempat pengeluaran yang ada di atas. Partikel mengendap ke bawah ke arah yang berlawanan arah dengan aliran air. Dalam prosesnya, partikel diwajibkan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dari pada laju pelimpahan agar partikel mengendap dan dapat dipisahkan.

Tabel 2. 5 Data Perencanaan untuk Bangunan Sedimentasi I
Berbentuk Persegi Panjang dan Lingkaran

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	<i>Typical</i>	Unit	Rentang	<i>Typical</i>
Persegi Panjang						
Kedalaman	feet	10-16	14	m	3-4,9	4 ; 3
Panjang	feet	50-300	80-130	m	15-90	24-40
Lebar	feet	10-80	16-32	m	3-24	4,9- 9,8
<i>Flight Speed</i>	ft/mi n	2-4	3	m/min	0,6-1,2	0 ; 9
Lingkaran						
Kedalaman	feet	0-16	14	m	3-4,9	4 ; 3
Diameter	feet	10-200	40-150	m	3-60	12-45
Kemiringan Dasar	In/ft	0,75-2	1	mm/m m	1/16-1/6	1/12
<i>Flight Speed</i>	r/min	0,02- 0,05	0,03	r/min	0,02-0,05	0,03

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

2.2.3. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

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

2.2.3.1. UpFlow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Prinsip kerja UASB adalah air limbah masuk dari bagian bawah reaktor lalu dialirkan secara vertikal ke atas. Air limbah pertama-tama akan melewati suatu lapisan yang dinamakan sludge bed. Pada lapisan ini air limbah yang masuk akan mengalami kontak dengan mikroba anaerob yang berbentuk granula (pellet) yang menyusun sludge bed tersebut. Biogas yang terbentuk dari metabolisme anaerob akan bergerak ke atas dan mengakibatkan terjadinya proses vertical mixing di dalam reactor dan butiran sludge akan tetap berada atau tertahan dalam reaktor.

Dengan demikian, tidak diperlukan alat mekanik untuk pengadukan di dalam reaktor.

Karakteristik pengendapan butiran sludge dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan upflow yang harus dipelihara dalam reaktor. Biasanya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0,5 – 0,3 m/jam. Untuk mencapai formasi sludge blanket yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (debit puncak) kecepatan dapat mencapai antara 2 – 6 m/jam.

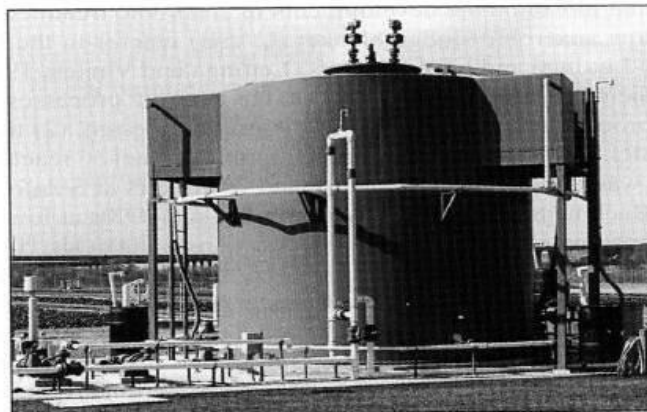
Gas yang terperangkap dalam butiran sludge sering mendorong sludge tersebut ke bagian atas reaktor, yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran sludge di luar reaktor dan kemudian dikembalikan lagi ke dalam reaktor. Karena gas dan efluen bergerak ke atas, maka diperlukan suatu struktur untuk menahan granula agar tidak ikut terbawa ke aliran efluen dan struktur inilah yang dinamakan Gas-LiquidSolid separator (GLSS). Gas yang terbentuk dapat ditampung dalam separator tersebut dan sludge dikembalikan lagi ke reaktor. Disamping itu juga turunya aktivitas spesifik butiran. Beragamnya densitas *sludge* memberikan ketidak seragaman *sludge blanket* sehingga sebagai akibatnya *sludge* akan ikut keluar reaktor. Tingginya konsentrasi *suspended solid* dan *fatty mineral* dalam air limbah juga merupakan masalah operasi yang serius. *Suspended solid* dapat menyebabkan penyumbatan (*clogging*) atau *channeling*. Adsorpsi *suspended solid* pada sludge juga akan mempengaruhi proses air limbah yang mengandung protein atau lemak menyebabkan pembentukan busa.

Jika lumpur di dalam reaktor UASB masih dalam bentuk “floculent”, kehilangan banyak lumpur akan terjadi karena terbawa aliran air limbah. Pengolahan air limbah dengan kondisi lumpur granul memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan lumpur “floculent” yaitu mempunyai kecepatan pengendapan dan keaktifan spesifik yang lebih besar sehingga memiliki kapasitas pengolahan air limbah yang jauh lebih tinggi. Pengembangan pembentukan lumpur granul dalam reaktor UASB yang mengolah beberapa jenis air limbah telah banyak diteliti, sehingga pembentukan lumpur granul dalam reaktor UASB sangat diperlukan dan dapat diaplikasikan dalam skala

komersial (Wu Wei-Min, 1985; de Zeeuw, 1987). Pembentukan lumpur granul dari lumpur “floculent” anaerobik dan pemeliharaannya dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu komposisi dan suhu air limbah, konfigurasi reaktor, kecepatan beban, dan kondisi hidrodinamik yang merupakan parameter paling penting (Kosaric, 1990). Menurut Metcalf and Eddy (2014), temperatur reaktor UASB yaitu 25°-35°c dan memiliki kecepatan pengendapan yaitu sekitar 10,47 – 54,6 m/jam. Barber dan Stuckey (1999) menyatakan bahwa hidrodinamika dan tingkat pengadukan pada reaktor berpengaruh erat terhadap kontak antara substrat dan bakteri, sehingga terjadi kontrol aliranmassa dan performa reaktor.

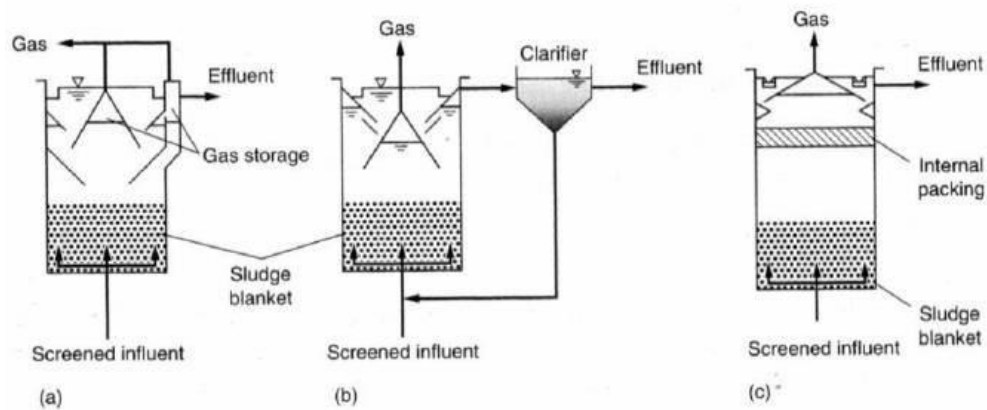
Keuntungan :

- Kebutuhan energi rendah
- Kebutuhan lahan sedikit
- Menghasilkan biogas berguna
- Kebutuhan nutrien sedikit
- Sludge mudah diolah/dikeringkan
- Tidak mengeluarkan bau dan kebisingan
- Mempunyai kemampuan terhadap fluktuasi dan *intermittent load*



Gambar 2. 15 Reaktor UASB

(Sumber: Metcalf and Eddy, hal 1006)



Gambar 2. 16 (a) Proses di dalam UASB, (b) Reaktor UASB dengan Sedimentasi dan Recycle Lumpur, (c) Reaktor UASB dengan Media yang menghasilkan Biofilm

(Sumber: Metcalf and Eddy, hal 1006)

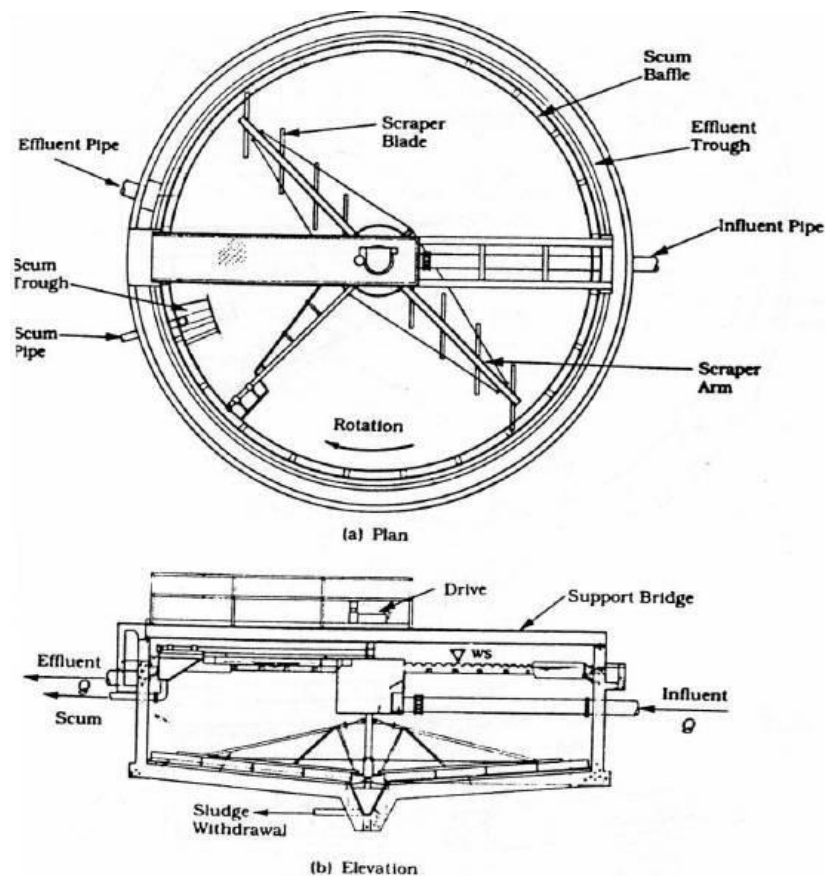
2.2.3.2. Bak Pengendap II (Clarifier)

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

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

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10 - 15 feet (3 - 4,6 meter). *Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge*

blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

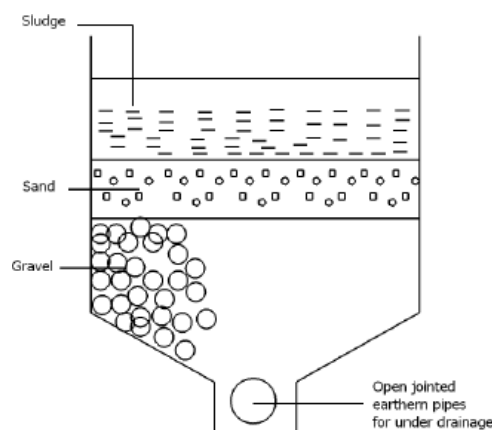


Gambar 2. 17 Denah dan Potongan Clarifier

2.2.4. Pengolahan Lumpur

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

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / *sludge* ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 18 Sludge Drying Bed

2.3. Persen Removal

Tabel 2.6 Persen Removal Bangunan Pengolahan Air Limbah

No	Bangunan Pengolahan Air Limbah	Parameter yang Disisihkan	Persen Removal	Sumber / <i>Literature</i>
1	Saluran Pembawa	-	-	
2	<i>Bar Screen</i>	-	-	
3	Bak Penampung	-	-	

4	Koagulasi	-	-	
5	Flokulasi	-	-	
6	Bak Pengendap I	Fluor	20-90%	Droste, 1997, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment (hal.224-225)
7	<i>Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB)	COD NH ₃	83-90% 75-90%	Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, page 13
		TKN	75-90%	Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, page 208
8	Bak Pengendap II	-	-	

2.4. Profil Hidrolis

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

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak

- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
 - d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus di hitungsecara k
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
 - b. Kehilangan tekanan pada assesoris
 - c. Kehilangan tekanan pada pompa
3. Tinggi muka air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan.