

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Tahu

Limbah Tahu adalah bahan atau materi buangan yang timbul akibat kegiatan produksi tahu, yang sudah tidak dimanfaatkan lagi. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat dan cair. Limbah padat berupa ampas kedelai. Limbah cair berupa sisa air perendaman, sisa air tahu yang tidak menggumpal, serta limbah cair keruh berwarna kuning muda keabu-abuan yang apabila dibiarkan akan berubah menjadi hitam dan berbau busuk (Nurhasan dan Pramudyanto 1991). Keberadaan limbah cair dapat memberikan nilai negatif terhadap suatu kegiatan industri, apabila tidak diolah dengan baik.

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 limbah cair industri tahu mempunyai karakteristik dan baku mutu antara lain :

a) BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Dampak utama pencemaran organik dalam badan air adalah penurunan tingkat oksigen terlarut. Solusi yang ditemukan dalam skala laboratorium untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap volume standar limbah atau cairan lainnya dengan waktu yang telah ditentukan yaitu Biological Oxygen Demand (BOD). BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅ (Sugiharto 1987).

b) COD (Chemical Oxygen Demand)

Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik. Perbedaan utama dengan uji nilai BOD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan pada uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidan yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam (Von Sperling 2015). COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat) (Qasim 1999).

c) TSS (Total Suspended Solid)

Total Suspended Solid (TSS) Adalah jumlah berat dalam (mg/L) kering lumpur yang ada di dalam air limbah, setelah mengalami penyimpanan dengan membran berukuran 0,45 mikron. *Total Suspended Solid* (TSS) juga merupakan sebagian dari *Total Solids* yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan, pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter *Whatman fiber glass* yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58µm (Metcalf dan Eddy 2014).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, tingkat pengolahan air ini dibagi menjadi lima kelompok tingkat pengolahan, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (Pretreatment)

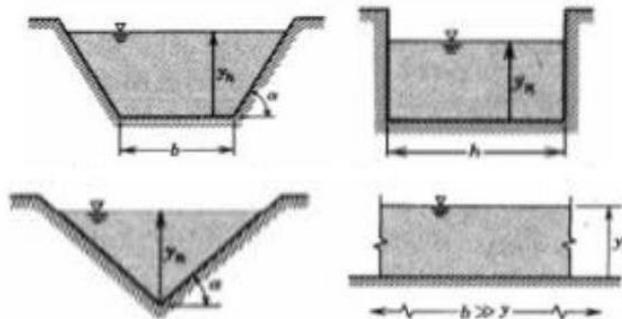
Proses pengolahan awal ini merupakan proses pada awal pengolahan secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Adapun tujuan pengolahan ini menyortir kerikil, lumpur,

menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu *pretreatment* juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan untuk *pretreatment* pada air limbah domestik meliputi:

A. Saluran Pembawa

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

- 1) Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (*atmosfer*). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.

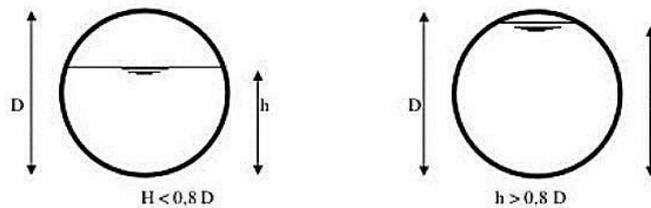


Gambar 1 Potongan saluran terbuka

Sumber: (Pritchard 2011)

- 2) Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (*atmosfer*). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun

tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka



Gambar 2 Potongan saluran tertutup (pipa)

Sumber: (Pritchard 2011)

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie dan Sugiyanto 2002). Untuk mengetahui dimensi saluran maka perlu diketahui kecepatan aliran air saat melewati saluran. Kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan dengan kecepatan air saat melewati *screen*. Maka rumus yang dapat digunakan sebagai berikut :

$$A = \frac{Q}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- A = luas permukaan saluran pembawa (m²)
- Q = debit limbah (m³/s)
- v = kecepatan aliran (m/s)

Dimensi saluran pembawa dengan bentuk persegi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$A = W \times H \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- A = luas permukaan saluran pembawa (m²)
- W = lebar saluran pembawa (m)
- H = kedalaman saluran pembawa (m)

Untuk mengetahui kedalaman total saluran pembawa maka tinggi air ditambahkan dengan tinggi *freeboard* (5 – 30%). Saluran pembawa memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan air dari satu titik ke titik lainnya. Maka diperlukan *slope* (kemiringan) agar air dapat mengalir dan dihitung *headloss* (kehilangan tekanan) yang terdapat pada saluran pembawa. Maka untuk mencari *slope* dan *headloss* sebuah saluran digunakan rumus sebagai berikut :

- Jari-Jari hidrolis

$$R = \frac{W \times H}{W + 2 \times H} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- R = jari-jari hidrolis (m)
- W = lebar saluran (m)
- H = ketinggian air (m)

- Headloss (kehilangan tekanan)

$$hf = s \times L \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

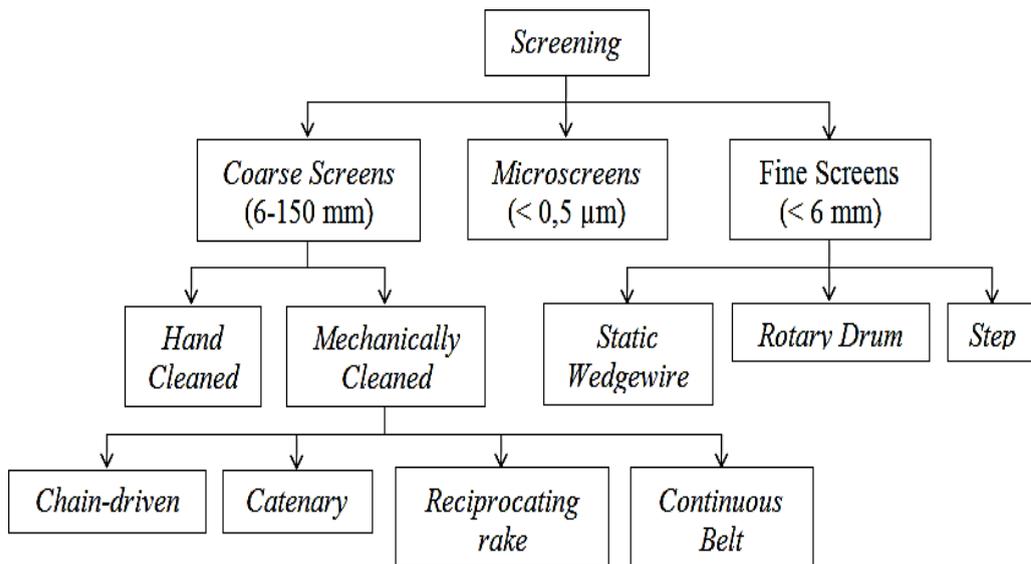
- hf = *headloss* / kehilangan tekanan (m)
- s = *slope* / kemiringan (m/m)
- L = panjang saluran (m)

B. Bar Screen

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah screening. Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

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

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, di antaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. 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 dan Eddy 2014).



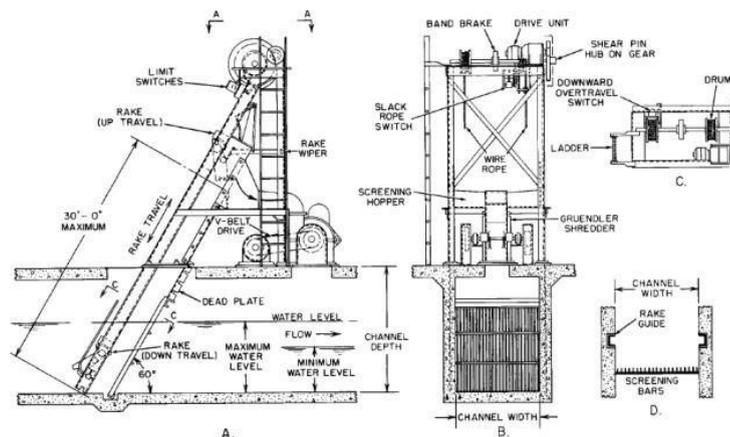
Gambar 3 Bagian Tipe Screening

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003).

Berikut merupakan tipe-tipe dari *screening* :

a) *Coarse Screen* (Penyaringan Kasar)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6- 150 mm (0,25- 6 inch). Dalam pengolahan air limbah, *screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0.3-0,6 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang. Bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30° - 45° terhadap horizontal



Gambar 4 Pembersihan Bar Screen Secara Manual

Sumber : (Qasim 1999)

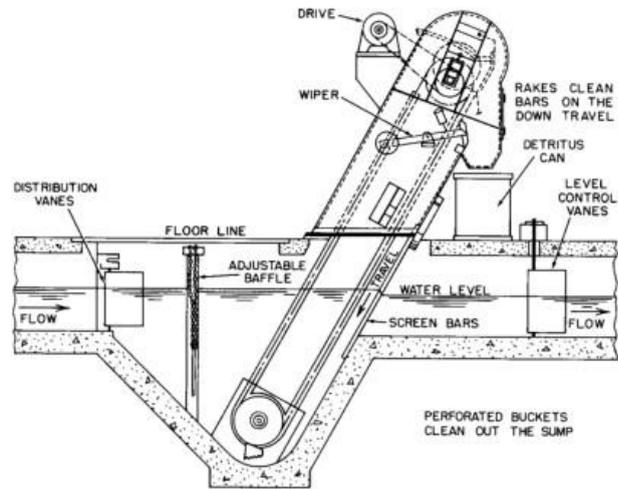


Gambar 5 Pembersihan Bar Screen Manual di Lapangan

(Sumber : <http://site.iugaza.edu.ps/frabah/files/2011/09/2.-Preliminary-treatment-.pdf>)

Pembersihan secara mekanik biasanya menggunakan bahan-bahan yang terbuat dari *stainless steel* dan plastik. Adapun tipenya adalah sebagai berikut:

- Chain driven
- Riciprocating rake
- Catenary
- Continouse belt



Gambar 6 Mechanical bar screen and grit collector

Sumber : (Qasim 1999)

Adapun kriteria perancangan untuk mendesain coarse screen baik dengan membersihkan secara manual maupun mekanis adalah sebagai berikut:

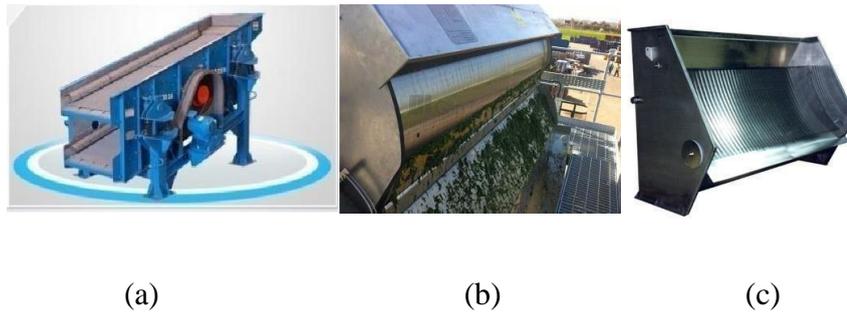
Tabel 1 Kriteria Perancangan Saringan Kasar (Coarse Screen)

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanikal	Unit	Manual	Mekanikal
Ukuran batang						
Lebar	inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	inch	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar Batang	inch	1,0 - 2,0	0,6 - 0,3	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30 - 45	0 - 30	mm	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maximal	ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimal	ft/s	-	1,0 - 1,6	m/s	-	0,3 - 0,5
Headloss	inch	6		mm	150	150 - 600

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

b) Penyaring halus (Fine Screen)

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari *effluent* yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses *trickling filter*. Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre - 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.



Gambar 7 (a) Incleaned Screen, (b) Rotary Drum Screen, (c) Fixed Parabolic Screen

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Screen tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS. **Tabel 2.2** merupakan kemampuan penyisihan oleh *fine screen* (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2 Persen Removal Fine Screen

Jenis Screen	Luas Permukaan		% Removal	
	Inch	mm	BOD (%)	TSS (%)
Fixed Prabolic	0,0625	1,6	5 - 20	5 – 30
Rotary Drum	0,01	0,25	25 - 50	25 - 45

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Tabel 3 Macam-Macam Fine Screen

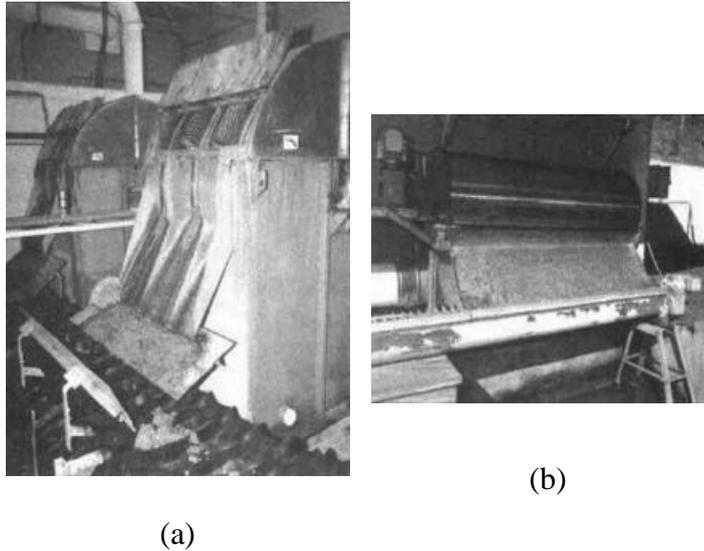
Jenis Screen	Permukaan <i>Screen</i>		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi	<i>Range</i> Ukuran			
		Ukuran			Inch
Miring	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel Pengolahan Primer	
Drum (berputar)	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel Pengolahan Pendahuluan Pengolahan Primer	
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5		
	Halus		6 – 35 μ m	Stainless steel dan polyester Meremoval residual SS	
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 – 0,17	1,6 – 4	Batangan stainless steel Gabungan dengan saluran air	
Tangential	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala yang terbuat dari stainless steel Gabungan dengan saluran pembawa	

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

c) Microscreen

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung, alga, yang berukuran kurang dari 0,5 μ m. Prinsip yang digunakan pada segala jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0,3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual,

biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal (Metcalf dan Eddy 2003). *Microscreen* terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain *disk type with stainless-steel fabric* dan *drum type with wedgewire screen* yang dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8 Tipe Microscreen; (a) Disk Type With Stainless-Steel Fabric

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Adapun rumus yang dapat digunakan untuk menghitung dimensi screen, sebagai berikut :

- Jumlah kisi

$$W_s = n \times d + (n+1) \times r \dots\dots(2.6)$$

Keterangan : W_s = lebar *screen* (m)
 n = jumlah kisi (m)
 r = jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - (n \times d) \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :
 W_c = lebar bukaan kisi (m)
 W_s = lebar *screen* (m)
 n = jumlah kisi

- Panjang Kisi

$$x = \frac{y}{\sin \Theta} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- x = panjang kisi (m)
- y = tinggi screen (m)
- sin Θ = kemiringan *screen* ($^{\circ}$)

- Kecepatan Melalui *Screen*

$$v = \frac{Q}{W_c \times h} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- v = kecepatan setelah melalui *screen* (m/s)
- W_c = lebar bukaan kisi (m)
- Q = debit limbah (m³/s)
- h = tinggi *screen* (m)

- Headloss Screen

$$h_L = \frac{1}{C} \times \frac{v^2 - v_0^2}{2g} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- h_L = headloss screen (m)
- C = koefisien headloss, (*clean screen* = 0,7 ; *clogged screen* = 0,6)
- V = kecepatan setelah melalui screen (m/s)
- v = kecepatan awal (m/s)
- g = percepatan gravitasi (m/s)

C. Bak Penampung

Bak penampung adalah sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Bak penampung juga merupakan sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan.

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, ketika air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Volume Bak Penampng

$$V = Q \times t_d \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

- V = volume bak (m^3)
- Q = debit limbah (m^3/s)
- t_d = waktu tinggal dalam bak (s)

- Lebar bukaan kisi

$$V = L \times W \times H \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- V = volume bak (m^3)
- L = panjang bak (m)
- W = lebar bak (m)
- H = Kedalaman bak (m), tinggi air ditambah tinggi *freeboard* (m)

2.2.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment)

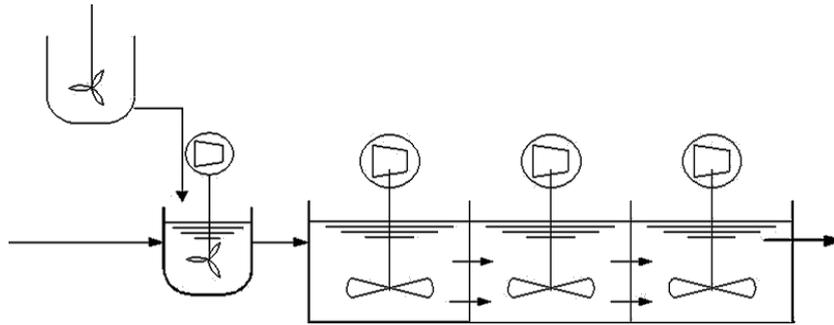
Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.

D. 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 dan Assomadi 2012)

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang sangat berkaitan erat dimana keberhasilan proses flokulasi sangat bergantung dari proses koagulasi yang merupakan rangkaian proses pembentukan flok-flok. Pada kedua proses ini dibutuhkan *flocculating agent* yaitu bahan kimia tertentu yang membantu proses pembentukan flok. Dalam kurun waktu terakhir, penggunaan polimer sintesis sebagai bahan kimia pendestabilisasi pada pengolahan air bersih dan limbah cair semakin meningkat. Berdasarkan pengamatan, pengolahan yang paling ekonomis dapat dicapai dengan menggunakan anionik polimer, walaupun padatan yang terkandung dalam air bermuatan negatif. Proses koagulasi- flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada gambar 9



Gambar 9 Proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)

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 Unit Sedimentasi Tipe I. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Ali Masduqi dan Assomadi 2012).



Gambar 10 Peralatan Jar Test

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)

Menurut Steel dan McGhee (1985), koagulasi diartikan sebagai proses kimia fisik dari pencampuran bahan kimia ke dalam aliran limbah dan selanjutnya diaduk cepat dalam bentuk larutan tercampur. Flokulasi adalah proses penambahan flokulan pada pengadukan lambat untuk meningkatkan saling hubung antar partikel yang goyah sehingga meningkatkan penyatuannya (aglomerasi). Menurut Hammer (1986), dua gaya yang menentukan kekokohan koloid adalah :

- 1) Gaya tarik menarik antar partikel yang disebut dengan gaya *Van der Waals*, cenderung membentuk agregat yang lebih besar
- 2) Gaya tolak menolak yang disebabkan oleh pertumpangtindihan lapisan tanda elektrik yang bermuatan sama yang mengakibatkan kekokohan dispersi koloid.

Selain itu bahan koagulan atau kimia yang sering digunakan yaitu :

- 1) *Aluminium sulfat* (alum), $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O)$

Alum merupakan bahan koagulan yang sering dipakai untuk pengolahan air, karena harganya yang ekonomis, flok yang dihasilkan stabil serta cara pengerjaannya pun mudah. Aluminium sulfat atau alum, diproduksi dalam bentuk padatan atau dalam bentuk cair. Optimum pH pada alum yaitu 5,5-8,5.

- 2) *Ferrous sulfate*

Ferrous sulfate diproduksi dalam bentuk kristal berwarna hijau atau butiran. Ferrous sulfate biasanya digunakan bersama-sama dengan kapur untuk menaikkan pH, sehingga ion ferro terendapkan dalam bentuk ferri hidroksida $(Fe(OH)_3)$. Ferrous sulfat kurang sesuai untuk menghilangkan warna, tetapi baik untuk pengolahan air yang memiliki alkalinitas, kekeruhan, dan DO yang tinggi. kondisi pH yang sesuai yaitu 9,0-11,0.

- 3) Ferri klorida

Ferri klorida dan *ferri sulfate* adalah bahan koagulan dengan nama dagang yang bermacam-macam. Keuntungan menggunakan koagula garam ferric yaitu proses koagulasi dapat dilakukan dengan selang pH yang lebih besar, biasanya antara pH 4-9. Flok yang dihasilkan lebih berat sehingga cepat mengendap, secara efektif dapat menghilangkan warna, bau, dan rasa.

Menurut Alaerts dan Santika (1987), jenis partikel koloid merupakan penyebab kekeruhan dalam air (efek *Tyndall*) yang disebabkan oleh penyimpangan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul tidak pernah keruh. Larutan tidak keruh jika terjadi pengendapan (presipitasi)

yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia. Menurut Vesilind (1994), partikel koloid dalam air sulit mengendap secara normal. Partikel koloid mempunyai muatan, penambahan koagulan akan menetralkan muatan tersebut. Partikel netral akan saling berikatan membentuk flok-flok besar dari partikel koloid yang berukuran sangat kecil. Hal ini disebut sebagai proses flokulasi.

(Metcalf dan Eddy 2014), menyatakan bahwa untuk mendorong pembentukan agregat partikel, harus diambil langkah-langkah tertentu guna mengurangi muatan atau mengatasi pengaruh muatan partikel. Pengaruh muatan dapat diatasi dengan :

- 1) Penambahan ion berpotensi menentukan muatan sehingga terserap atau bereaksi dengan permukaan koloid untuk mengurangi muatan permukaan, atau penambahan elektrolit yang akan memberikan pengaruh mengurangi ketebalan lapisan difusi listrik sehingga mengurangi zeta potensial
- 2) Penambahan molekul organik berantai panjang (polimer) yang sub-bagiannya dapat diberi muatan sehingga disebut polielektrolit, hal ini menyebabkan penghilangan partikel melalui adsorpsi dan pembuatan penghubung (*bridging*)

Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Assomadi 2012). Berdasarkan kecepatan pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

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 *G_{Td}* (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700 (Ali Masduqi dan Assomadi 2012).

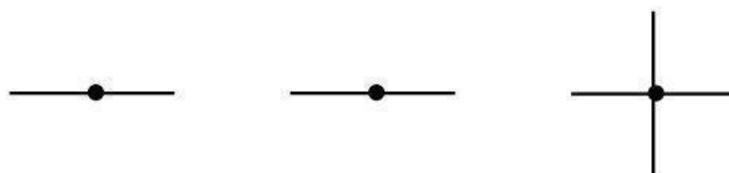
2) Pengadukan Lambat

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) selama 10 hingga 60 menit atau nilai *G_{Td}* (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 (Ali Masduqi dan Assomadi 2012).

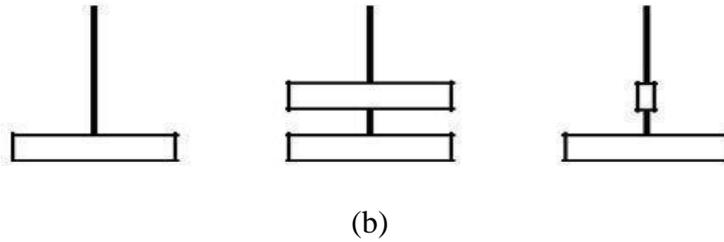
Sedangkan, berdasarkan metode pengadukannya dibagi dibedakan menjadi :

1) 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).

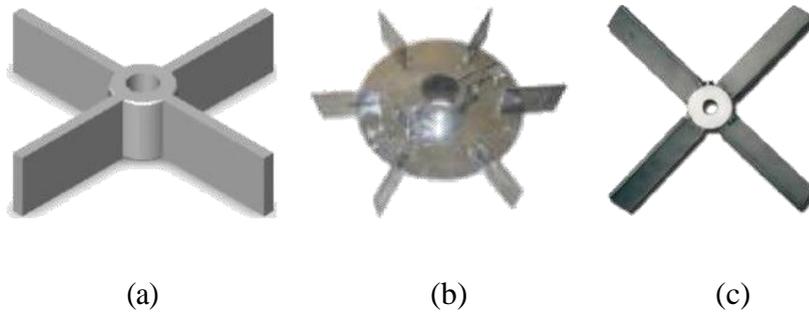


(a)



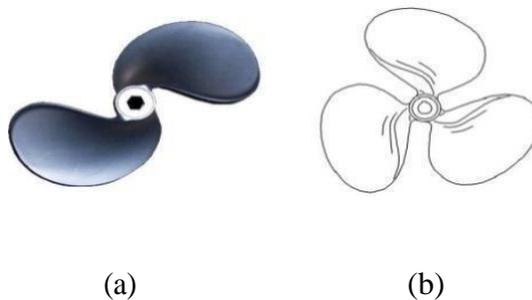
Gambar 11 Tipe paddle (a) Tampak atas, (b) Tampak samping

Sumber : (Qasim 1999)



Gambar 12 Tipe turbine

(a) *Turbine blade* lurus, (b) *Turbine blade* dengan piringan,
 (c) *Turbine* dengan *blade* menyerong



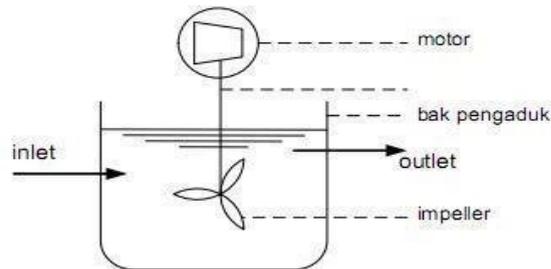
Gambar 13 Propeller

(a) *Propeller 2 Blade*, (b) *Propeller 3 Blade*

Sumber : (Qasim 1999)

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.



Gambar 14 Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)

Tabel 4 Nilai Gradien Kecepatan dan waktu pengadukan

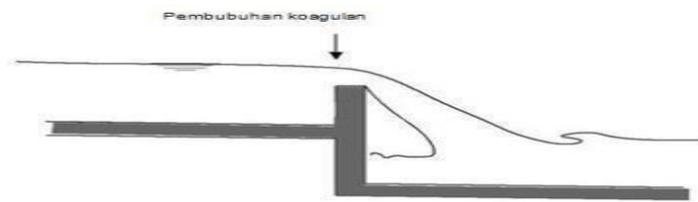
Waktu Pengadukan (td) (detik)	Gradien Kecepatan (L/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 >	700

Sumber: (Reynold 1996)

2) Pengadukan Hidrolis

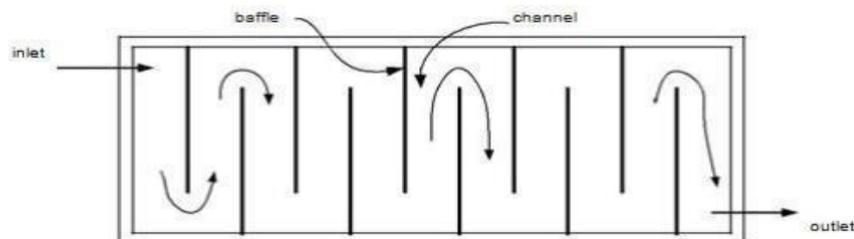
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolis yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi hidrolis dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolis dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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 hidrolis, dan parshall flume. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya.



Gambar 15 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)



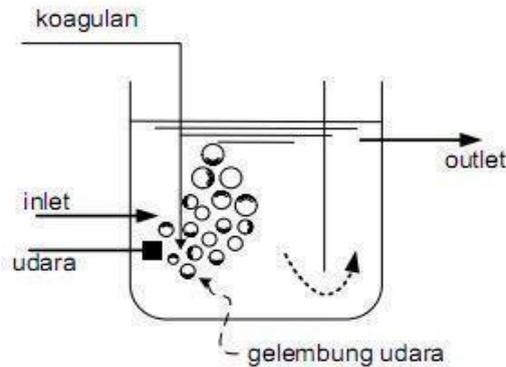
Gambar 16 Baffle Channel

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)

3) 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.



Gambar 17 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

Sumber : (Ali Masduqi dan Assomadi 2012)

Adapun rumus yang digunakan pada unit Pengolahan Koagulasi ini adalah sebagai berikut :

- Kecepatan pengadukan

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- G = gradien kecepatan (detik⁻¹)
- P = suplai Tenaga (N.m/detik)
- V = Volume (m³)
- μ = viskositas absolut air (N.detik/m²)

- Bilangan Reynold

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

N_{Re} = bilangan reynold

P = suplai Tenaga (N.m/detik)

μ = viskositas absolut air (N.detik/m²)

V = Volume (m³)

Tabel 5 Beberapa Jenis Koagulan dalam Proses Pengolahan Air

Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat Molekul	Wujud	Densitas Bulk (kg/m ³)	Specific Gravity	Kelarutan dalam air	Kadar Kimia (%)	Kadar Air (%)	pH Larutan
Aluminium Sulfat	Alum	Al ₂ (SO ₄) ₃ . 14, 3 H ₂ O	599,77	Putih terang Padat	1000 - 1096	1,25-1,36	Sekitar 872	Al : 9,0 - 9,3	-	Sekitar 3,5
	Alum Cair	Al ₂ (SO ₄) ₃ . 49, 6 H ₂ O	1235,71	Putih atau terang abu – abu kekuningan, cair	-	1,30-1,34	Sangat larut	Al : 4,0 - 4,5	71,2 - 74,5	-
Ferri Klorida	Besi (III) klorida, Besi Triklorida	FeCl ₃	162,21	Hijau-hitam, bubuk	721 - 962	-	Sekitar 719	Fe :Kira-kira 34	-	-
	Ferri klorin cair	FeCl ₃ .6 H ₂ O	270,30	Kuning-coklat, bongkahan	962 - 102	-	Sekitar 814	Fe : 20,3 -21,0	-	-
		FeCl ₃ .13,1 H ₂ O	398,21	Coklat kemerahan, cair	-	1,20-1,48	Sangat larut	Fe : 12,7 -14,5	56,5 - 62,0	0,1-1,5
Ferri Sulfat	Besi (III) sulfat, Besi Persulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ . 9H ₂ O	562,02	Merah-coklat, bubuk	1122 - 1154	-	-	Fe : 17,9 -18,7	-	-
	Ferri sulfat cair	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .36,9H ₂ O	1064,64	Coklat kemerahan, cair	-	1,40-1,57	Sangat larut	Fe : 10,1 -12,0	56,5 - 64,0	0,1-1,5

Ferro Sulfat	Copperas	FeSO ₄ .7 H ₂ O	278,02	Hijau,bongkahan kristal	1010-1058	-	-	Fe :Sekitar 20	-	-
--------------	----------	---------------------------------------	--------	-------------------------	-----------	---	---	----------------	---	---

Sumber : (Qasim 1999)

E. Unit Bangunan Sedimentasi Tipe I

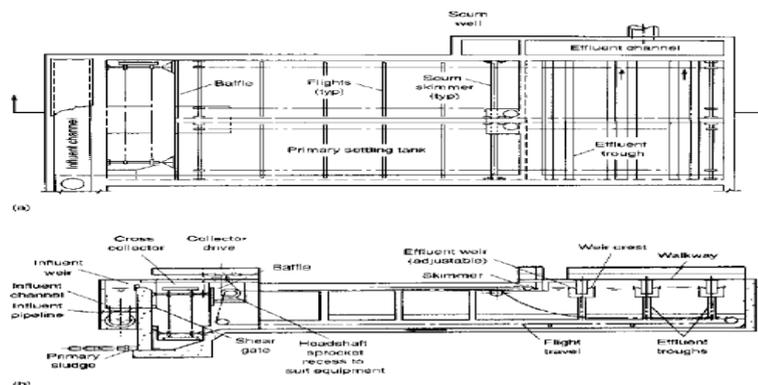
Sedimentasi Tipe I digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulan dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Ali Masduqi dan Assomadi 2012). Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS pada unit bangunan sedimentasi tipe I dipengaruhi oleh:

- 1) Aliran angin
- 2) Suhu udara permukaan
- 3) Suhu menyebabkan perubahan kekentalan air
- 4) Suhu terstratifikasi dari iklim
- 5) Bilangan eddy

Berdasarkan bentuk unit bangunan sedimentasi tipe I dibagi menjadi 3 (tiga), sebagai berikut :

- 1) Segi Empat (*Rectangular*)

Pada unit ini, air mengalir *horizontal* dari inlet menuju outlet, sementara partikel mengendap ke bawah. unit bangunan sedimentasi tipe I memiliki beberapa bagian didalamnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.18 :



Gambar 18 Unit Bangunan Sedimentasi I berbentuk Rectangular

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

2) Lingkaran (*Circular*)

Pada unit bangunan sedimentasi tipe I berbentuk *circular* pola aliran berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah unit 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 dan Eddy 2003) Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran unit bangunan sedimentasi tipe I adalah: *Surface Loading* (Beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi unit dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf dan Eddy 2003).

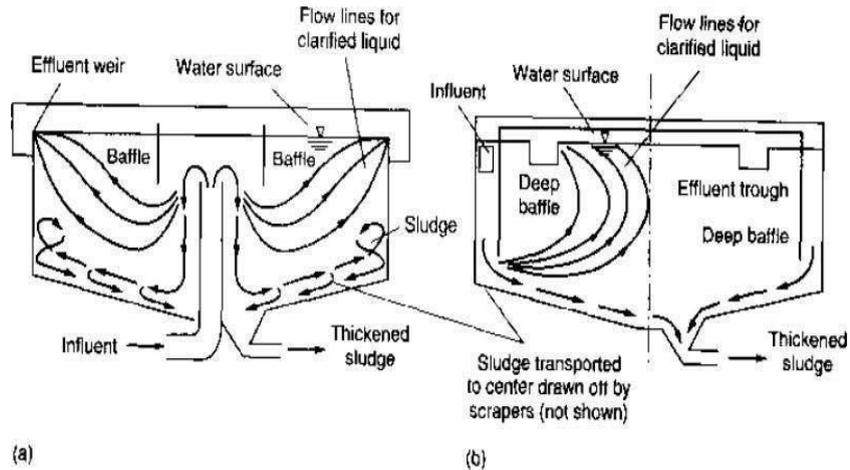
Sedangkan, berdasarkan aliran bak sedimentasi dibagi menjadi 3 (tiga), sebagai berikut :

1) Aliran *Center Feed*

Pada unit ini, air masuk melalui pipa menuju inlet bak di bagian tengah unit, kemudian air mengalir *horizontal* dari inlet menuju outlet di sekeliling unit, sementara partikel mengendap ke bawah. Secara tipikal bak persegi mempunyai rasio panjang : lebar yaitu antara 2 : 1 – 3 : 1.

2) Aliran *Periferal Feed*

Pada bak ini, air masuk melalui sekeliling lingkaran dan secara horisontal mengalir menuju ke outlet di bagian tengah lingkaran, sementara partikel mengendap ke bawah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe *periferal feed* menghasilkan *short circuit* yang lebih kecil dibandingkan tipe *center feed*, walaupun *center feed* lebih sering digunakan. Secara umum pola aliran pada bak lingkaran kurang mendekati pola ideal dibanding bak pengendap persegi panjang. Meskipun demikian, bak lingkaran lebih sering digunakan karena penggunaan peralatan pengumpul lumpurnya lebih sederhana. Arah aliran *periferal feed* ini lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 19 Unit Bangunan Sedimentasi Tipe I Berbentuk Circular

Center Feed, (b) Periferal Feed

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Dalam unit bangunan sedimentasi tipe I juga terdapat bagian-bagian tertentu yang memiliki fungsi berbeda satu sama lainnya, bagian-bagian tersebut antara lain:

1) *Zona Inlet* atau struktur *influent*

Zona inlet mendistribusikan aliran air secara merata pada bak sedimentasi dan menyebarkan kecepatan aliran yang baru masuk. Jika dua fungsi ini dicapai, karakteristik aliran hidrolis dari bak akan lebih mendekati kondisi bak ideal dan menghasilkan efisiensi yang lebih baik. *Zona influent* didesain secara berbeda untuk kolam *rectangular* dan *circular*. Khusus dalam pengolahan air, bak sedimentasi *rectangular* dibangun menjadi satu dengan bak flokulasi. Sebuah *baffle* atau dinding memisahkan dua kolam dan sekaligus sebagai *inlet* bak sedimentasi. Disain dinding pemisah sangat penting, karena kemampuan bak sedimentasi tergantung pada kualitas flok.

2) *Zona pengendapan*

Dalam zona ini, air mengalir pelan secara horisontal ke arah outlet, dalam zona ini terjadi proses pengendapan. Lintasan partikel tergantung pada besarnya kecepatan pengendapan.

3) Zona lumpur

Dalam zona ini lumpur terakumulasi. Sekali lumpur masuk area ini ia akan tetap disana

4) Zona outlet atau struktur *effluent*

Seperti zona inlet, zona outlet atau struktur *effluent* mempunyai pengaruh besar dalam mempengaruhi pola aliran dan karakteristik pengendapan flok pada unit bangunan sedimentasi tipe I. Biasanya *weir*/pelimpah dan bak penampung limpahan digunakan untuk mengontrol outlet pada unit bangunan sedimentasi tipe I. Selain itu, pelimpah tipe *V-notch* atau *orifice* terendam biasanya juga dipakai. Diantara keduanya, *orifice* terendam yang lebih baik karena memiliki kecenderungan pecahnya sisa flok lebih kecil selama pengaliran dari unit bangunan sedimentasi tipe I menuju filtrasi.

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- *Surface Area*

$$A = \frac{Q}{OFR} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- A = surface area (m²)
- Q = debit limbah (m³/s)
- OFR = oferflowrate (m³/m²s)

- Volume Unit Bangunan Sedimentasi

$$V = Q \times td \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

- V = volume (m³)
- Q = debit limbah (m³/s)
- td = waktu detensi dalam bak (s)

- Kecepatan

Pengendapan

$$v_s = \frac{H}{t_d} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

- v_s = kecepatan pengendapan (m/s)
- H = tinggi bak (m)
- t_d = waktu detensi (s)

- Kecepatan *Horizontal* (v_h) (2.18)

$$v_h = \frac{Q}{2 \times \pi \times r \times H}$$

Keterangan :

- v_h = kecepatan horizontal (m/s)
- r = jari-jari bak (m)
- Q = debit limbah (m³/s)
- H = tinggi bak (m)

- Bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{v_h \times R}{\nu} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

- ν = viskositas kinematis (N.s/m²)
- v_h = kecepatan horizontal (m/s)
- R = jari-jari hidrolis bak (m)
- N_{Re} = bilangan reynold

Tabel 6 Desain Unit Bangunan Sedimentasi Tipe I

Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment						
Waktu Tinggal	Jam	1,2 - 1,2	2	Jam	1,5 - 2,5	2
Kecepatan Alir:						
Rata-Rata	gal/ft ² s	800 - 1.200	1.000	m ³ /m ² s	30 - 50	40
Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Puncak	gal/ft ² s	2.000 - 3.000	2.500	m ³ /m ² s	80 - 120	100
Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Weir Loading	gal/ft ² s	10.000 - 40.000	20.000	m ³ /m ² s	125 - 500	250
Primary Settling with Waste Activated Sludge Return						
Waktu Tinggal	Jam	1,5 - 2,5	2	Jam	1,5 - 2,5	2
Kecepatan Alir:						
Rata-Rata	gal/ft ² s	600 - 800	1.000	m ³ /m ² s	24 - 32	28
Puncak	gal/ft ² s	1.200 - 1.700	1.500	m ³ /m ² s	48 - 70	60
Weir Loading	gal/ft ² s	10.000 - 40.000	20.000	m ³ /m ² s	125 - 500	250

Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

Tabel 7 Data Perancangan Untuk Bangunan Sedimentasi Tipe I Berbentuk Persegi dan Lingkaran

Item	U.S Customary Units			SI Unit		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
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
Flight Speed	ft/min	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/mm	1/16 - 1/6	1/12
Flight Speed	r/min	0,02 - 0,05	0,03	r/min	0,02 - 0,05	0,03

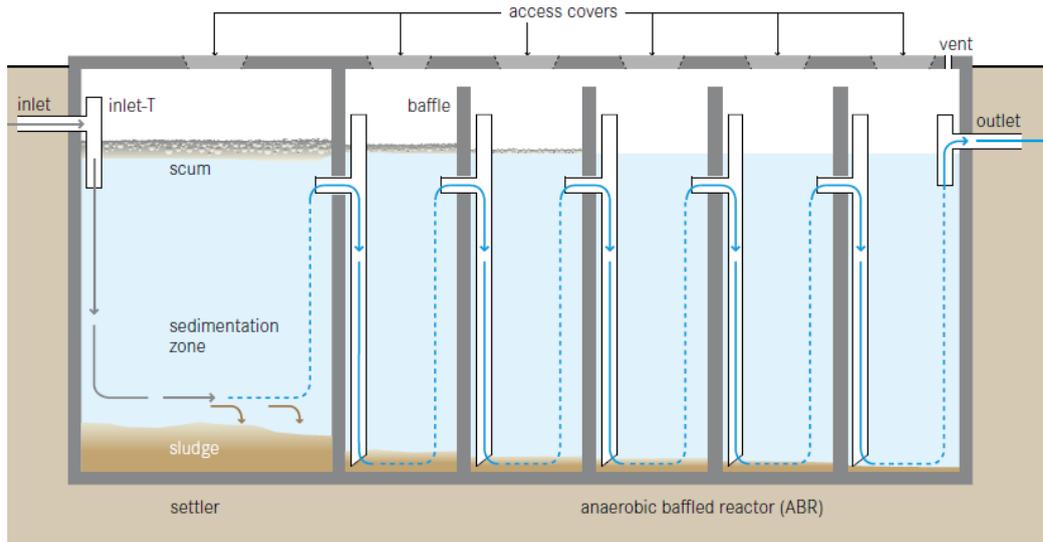
Sumber : (Metcalf dan Eddy 2003)

2.2.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan kedua atau pengolahan sekunder ini umumnya mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan – bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya (Sugiharto 1987).

F. *Biofilter Anaerobik*

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan suspended growth yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (*baffle*). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran *upflow* dan *downflow*) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme.



Gambar 20 Anaerobic Baffle Reactor

ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganisme dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya. Mikroorganisme berkembang dalam lapisan lumpur yang terakumulasi di dasar kompartemen. Unit ABR mampu menyisihkan 65-90% COD; 70-95% BOD; dan 80-90% TSS (Kemen PUPR).

Degradasi Anaerobik Senyawa Organik Tahapan – tahapan dalam proses degradasi anaerob sebagai berikut :

- 1) Proses Hidrolisis
 Pada proses hidrolisis ini, aktivitas kelompok bakteri Saprofilik menguraikan bahan organik kompleks. Aktivitas terjadi karena bahan organik tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein dan karbohidrat akan dikonsumsi bakteri Saprofilik, dimana enzim ekstraseluler akan mengubahnya menjadi bahan organik yang larut dalam air.
- 2) Proses Asidogenesis
 Pada proses ini, bahan organik terlarut akan diubah menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionat, asam

amino, asam asetat dan asam- asam lainnya oleh bakteri Asidogenik.

- 3) Proses Metanogenesis
Proses Metanogenesis adalah proses dimana bakteri Metanogenik akan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH₄)
- 4) dan karbondioksida (CO₂) dalam (Indriyati,2007).

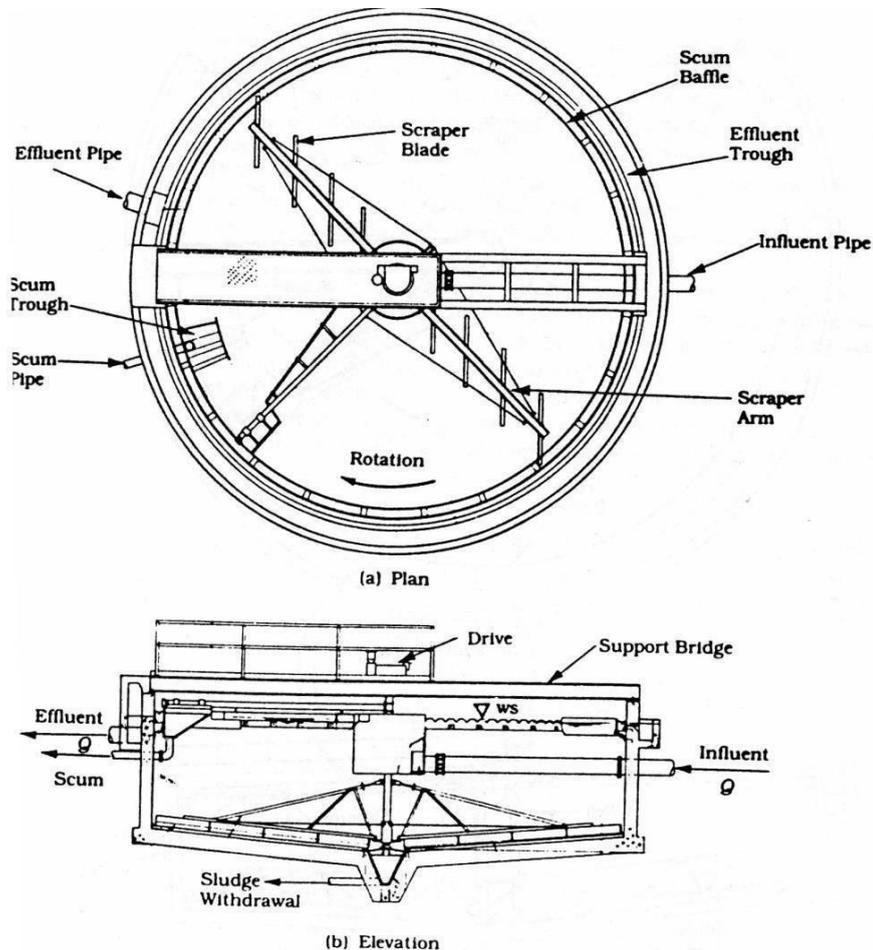
G. Secondary Clarifier

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 *secondary 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 di tengah bagian bawah *secondary clarifier*. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman *secondary clarifier* rata-rata 10-15 feet (3-4,6 meter). *Secondary Clarifier* yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).



Gambar 21 Clarifier

((a) tampak atas Clarifier (b) potongan *Clarifier*)

Sumber : (Reynold 1996)

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

A. Zona *Settling*

- Luas penampang (A)

$$A = \frac{Q}{OFR} \dots\dots\dots (2.46)$$

Keterangan :

A = luas penampang bak (m²)

Q = debit air limbah (m³/hari)

OFR = *over flow rate* (m/hari)

- Diameter bak (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.47)$$

- Diameter *inlet well* (Dw)

$$Dw = (15\% - 20\%) \times D \dots\dots\dots (2.48)$$

Keterangan :

Dw = diameter *inlet well* (m)

D = diameter bak pengendap 1 (m)

- Volume bak (V)

$$V = Q \times td \dots\dots\dots (2.49)$$

Keterangan :

- V = volume bak (m³)
- Q = debit air limbah (m³/hari)
- td = waktu tinggal hidrolis (sekon)

- Kedalaman zona *settling*

$$H_{settling} = \frac{V}{A} \dots\dots\dots (2.50)$$

Keterangan :

- H_{settling} = kedalaman zona *settling* (m)
- V = volume bak (m³)
- A = luas penampang bak (m²)

$$H_{total} = H_{settling} + Fb \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan :

- H_{total} = kedalaman total bak pengendap 1 (m)
- H_{settling} = kedalaman zona *settling* (m)
- Fb = freeboard [(5% - 30%) x H] (m)

- Kecepatan pengendapan (vs)

$$vs = \frac{H_{total}}{td} \dots\dots\dots (2.52)$$

Keterangan :

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H_{total} = kedalaman total bak pengendap 1 (m)

t_d = waktu tinggal hidrolis (sekon)

- Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{v_s \times 18 \times v}{g (sg-1)}} \dots\dots\dots (2.53)$$

Keterangan :

D_p = diameter partikel (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

v = viskositas kinematis (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

sg = *specific gravity*

- Cek bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{\rho_s \times D_p \times v_s}{\mu} \dots\dots\dots (2.54)$$

Keterangan :

N_{Re} = bilangan reynold

ρ_s = massa jenis partikel (kg/m^3)

D_p = diameter partikel (m)

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

μ = viskositas absolut ($N.s/m^2$)

- Kecepatan Horizontal

$$v_h = \frac{Q}{2 \times \pi \times r \times h} \dots\dots\dots (2.55)$$

Keterangan :

v_h = kecepatan horizontal (m/s)

Q = debit air limbah ($m^3/hari$)

r = jari-jari hidrolis bak (m)

h = kedalaman bak pengendap (m)

- Jari-jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{r \times H}{r + (2 \times H)} \dots\dots\dots (2.56)$$

- Cek bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{v_h \times R}{\mu} \dots\dots\dots (2.57)$$

Keterangan :

- N_{Re} = bilangan reynold
- v_h = kecepatan horizontal (m/s)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Bilangan Froude (N_{Fr})

$$N_{Fr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times h}} \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan :

- N_{Fr} = bilangan froud, (Aliran laminer saat $N_{fr} > 10^5$)
- v_h = kecepatan horizontal (m/s)
- g = percepatan gravitasi (m²/s)
- h = kedalaman bak pengendap (m)

- Kecepatan *scouring* (v_{sc})

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8k(S-1) \times g \times d}{f}} \dots\dots\dots (2.59)$$

Keterangan :

A. Zona Thickening

- MLVSS dalam *clarifier*

$$MLVSS_{AS} = 30\% \times MLVSS_{total} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$MLVSS_{clarifier} = MLVSS_{total} - MLVSS_{AS} \dots\dots\dots (2.61)$$

Keterangan :

- $MLVSS_{AS}$ = MLVSS dari bioreaktor AS (mg/L)
- $MLVSS_{total}$ = MLVSS total dari bioreaktor AS (mg/L)
- $MLVSS_{clarifier}$ = MLVSS di dalam *clarifier* (mg/L)

- Masa solid total pada *clarifier*

$$m_{\text{solid total}} = \text{MLVSS}_{\text{clarifier}} \times V_{\text{clarifier}} \dots\dots\dots (2.62)$$

Keterangan :

$m_{\text{solid total}}$ = massa solid total dalam *clarifier* (kg)

$\text{MLVSS}_{\text{clarifier}}$ = MLVSS di dalam *clarifier* (mg/L)

$V_{\text{clarifier}}$ = volume *clarifier* (m³)

- Kedalaman zona *thickening*

$$H = \frac{m_{\text{solid total}}}{X \times A} \dots\dots\dots (2.63)$$

Keterangan :

$m_{\text{solid total}}$ = massa solid total dalam *clarifier* (kg)

X = MLVSS dari bioreaktor AS (mg/L)

A = luas penampang *clarifier* (m²)

B. Zona Sludge

- Total lumpur yang terkumpul

$$T_L = P_x \times t \dots\dots\dots(2.64)$$

Keterangan :

T_L = total lumpur yang terkumpul (kg)

P_x = lumpur yang dihasilkan dari bioreaktor AS (kg/hari)

T = waktu pengurasan (hari)

- Total massa lumpur pada *clarifier*

$$T_{ML} = T_L$$

$$\times m_{solid}$$

total

.....

$$(2.65)$$

Keterangan :

T_{ML} = total massa lumpur pada *clarifier* (kg)

T_L = total lumpur yang terkumpul (kg)

$m_{solid\ total}$ = massa solid total dalam *clarifier* (kg)

- Volume lumpur pada *clarifier*

$$V_L = \frac{T_{ML}}{\rho_s} \dots\dots\dots (2.66)$$

Keterangan :

V_L = volume lumpur pada *clarifier* (m³)

T_{ML} = total massa lumpur pada *clarifier* (kg)

ρ_s = massa jenis solid (kg/m³)

- Kedalaman ruang lumpur

$$V = 1/3 \times \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr) \dots\dots\dots (2.67)$$

Keterangan :

V = volume ruang lumpur (kerucut terpancung) (m³)

H = kedalaman ruang lumpur (m)

R = jari-jari permukaan atas (m)

r = jari-jari permukaan bawah (m)

- Kedalaman ruang lumpur

$$H_{total} = H_{settling} + H_{thickening} + H_{sludge} \dots\dots\dots (2.68)$$

Keterangan :

H_{total} = kedalaman total bioreaktor AS (m)

$H_{settling}$ = kedalaman zona *settling* (m)

$H_{thickening}$ = kedalaman zona *thickening* (m)

H_{sludge} = kedalaman zona lumpur (m)

C. Zona Outlet

- Panjang pelimpah (*weir*)

$$L = \pi \times D_{bak} \dots \dots \dots (2.69)$$

Keterangan :

L = panjang pelimpah (m)

D_{bak} = diameter bak pengendap 1 (m)

- Jumlah *V notch*

$$n = \frac{L_{weir}}{r_{weir}} \dots \dots \dots (2.70)$$

Keterangan :

n = jumlah *v notch*

L_{weir} = panjang pelimpah (m)

r_{weir} = jarak antar weir (m)

- Debit air melalui *v notch*

$$Q_v = \frac{Q}{n} \dots \dots \dots (2.71)$$

Keterangan :

Q_v = debit air yang melalui *v notch* (m^3/s)

Q = debit air limbah (m^3/s)

n = jumlah *v notch*

- Tinggi Impahan *v notch*

$$N_{Re} = \frac{\rho \times D \times v_s}{\mu} \dots\dots\dots (2.72)$$

Keterangan :

- NRe = bilangan reynold
- ρ = massa jenis air (kg/m³)
- D = diameter bak pengendap 1 (m)
- v_s = kecepatan pengendapan (m/s)
- μ = viskositas absolut (N.s/m²)

2.2.4 Pengolahan Lumpur (*Tertiary Treatment*)

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. *Sludge* dalam *disposal sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

- H. *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau.
- I. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik
- J. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung *solid* (0,25% - 12% *solid*).

Adapun tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

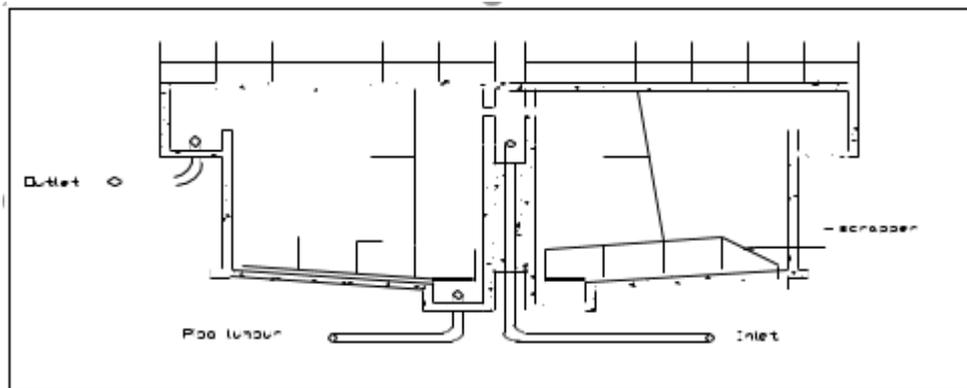
- A. Mereduksi kadar lumpur
- B. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini diantaranya :

A. *Sludge Thickener*

Sludge thickener adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan *solid* dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air),

sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe *thickener* yang digunakan adalah *gravity thickener* dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem *gravity thickener* ini, lumpur diendapkan di dasar bak *sludge thickener*.

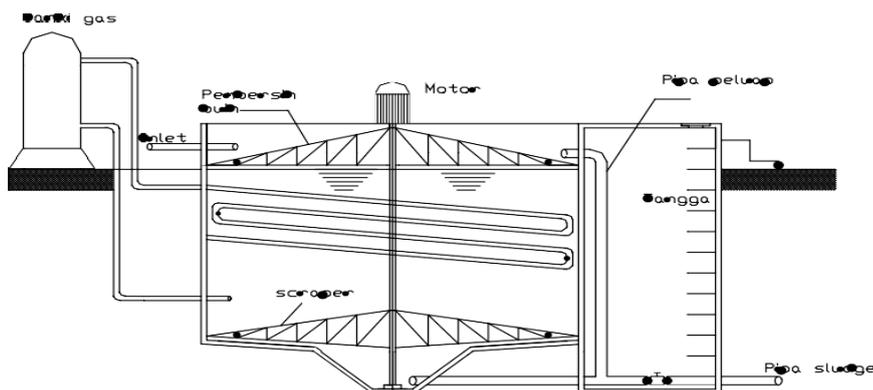


Gambar 22 Sludge Thickener

Sumber : (Reynold 1996)

B. Sludge Digester

Sludge digester berfungsi untuk menstabilkan *sludge* yang dihasilkan dari proses lumpur aktif dengan mengkomposisi organik material yang bersifat lebih stabil berupa anorganik material sehingga lebih aman untuk dibuang.



Gambar 23 Sludge Digester

Sumber : (Reynold 1996)

C. *Sludge Drying Bed*

Sludge Drying Bed merupakan suatu unit yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari Clarifier. Unit ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa *underdrain* untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

Sludge Drying Bed merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. *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*) (Metcalf dan Eddy 2003).Keuntungan penggunaan *sludge drying bed* diantaranya adalah:

- 1) Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan
- 2) Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan
- 3) Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan

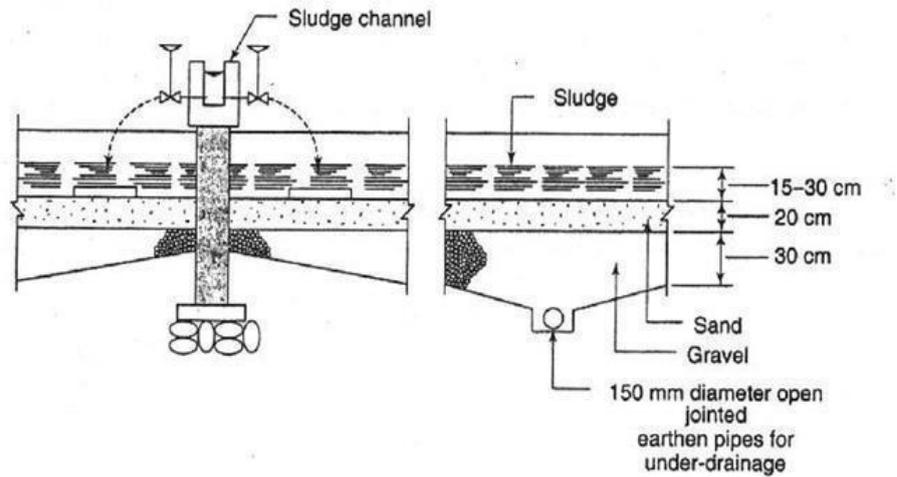
Selain itu, *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, di antaranya:

- 1) Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya dibutuhkan lahan yang lebih luas
- 2) Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge* / lumpur

Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya:

- 1) *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
- 2) *Paved Sludge Drying Bed*
- 3) *Artificial Media Sludge Drying Bed*

- 4) *Vacuum Assisted Sludge Drying Bed*
- 5) *Solar Sludge Drying Bed*



Gambar 24 Sludge Drying Bed

Sumber : (Reynold 1996)

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- *Volume cake sludge*

$$V_i = \frac{\text{vol. lumpur} \times (1-p)}{1-p_i} \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan :

- V_i = Volume *cake sludge* (m^3)
- Vol. lumpur = Volume lumpur total (m^3)P
= Kadar air
- P_i = Berat air dalam cake (60 – 70%)

- Volume *bed*

$$V = V_i \times td \dots \dots \dots (2.74)$$

Keterangan :

V = Volume SDB (m^3)

V_i = Volume *cake sludge* (m^3)

td = Waktu detensi (detik)

- Volume tiap *bed*

$$V_b = \frac{V}{\text{jumlah bed}} \dots \dots \dots (2.75)$$

Keterangan :

V_b = Volume tiap *bed* (m^3)

V = Volume SDB (m^3)

Jumlah bed = Banyak *bed* yang direncanakan

- Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}} \dots \dots \dots (2.76)$$

$$A = L \times W \dots\dots\dots(2.77)$$

Keterangan :

Vb = Volume tiap bed (m³)

L = Panjang (m)

W = Lebar (m)

- Kedalaman total

$$H = \text{tinggi cake} + \text{tinggi media} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$H_{\text{total}} = H + Fb \dots\dots\dots(2.79)$$

Keterangan :

H_{total} = Kedalaman total bak (m)

Fb = Freeboard (10-30% kedalaman)

- Volume air

$$V_a = \frac{V_i - \text{volume solid}}{\text{jumlah bed}} \times td \dots\dots\dots(2.80)$$

Keterangan :

V_a = Volume air (m³)

V_i = Volume *cake sludge* (m³)

Volume solid = Volume solid total (m³)

Jumlah bed = Banyak *bed* yang direncanakan

td = Waktu detensi (detik)

2.3 Persen Removal

Persen removal yang digunakan pada bangunan pengolahan air buangan ini sebagai berikut :

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 - Flokulasi	-	-	-
5	Bak Pengendap I	BOD TSS	25 – 40% 50 – 70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse 4 th edition Hal. 337 & 396
6	<i>Activated Sludge</i>	BOD COD	80 – 99% 50 – 95%	Cavaseno, Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering, Hal. 15
7	<i>Secondary Clarifier</i>	TSS	50 – 70%	Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering; Treatment and Reuse 4 th edition Hal. 337 & 396

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolik grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-

effluen) 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.

2.4.1 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 :

- 1) Kehilangan Tekanan pada saluran terbuka
- 2) Kehilangan tekanan pada bak
- 3) Kehilangan tekanan pada pintu air
- 4) Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat dan lain-lain harus dihitung secara khusus

2.4.2 Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu :

1. Kehilangan Tekanan pada perpipaan dan aksesoris
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan
3. Kehilangan tekanan pada aksesoris
4. Kehilangan tekanan pada pompa

2.4.2 Tinggi Muka Air

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

Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- 5) Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- 6) Tambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.
- 7) Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- 8) Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air

2.4.4 Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 8 Jenis-Jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	<i>Centrifugal</i>
	Air limbah sebelum diolah	Air limbah sebelum diolah
	Penggunaan lumpur kedua	Penggunaan lumpur kedua
<i>Posite Displacement</i>	Screw	Screw
	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua
	Pneumatic Ejektor	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

Sumber : (Metcalf and Eddy 2003)