

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Limbah

Menurut Metcalf & Eddy (2003), air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan dan air buangan lainnya yang berdampak pada lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Menurut Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 mendefinisikan limbah sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan kegiatan manusia. Limbah berbeda dengan sampah, sampah cenderung banyak ditemui dari hasil buangan kegiatan manusia sehari-hari atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan limbah berasal dari kegiatan manusia secara individu maupun kelompok, seperti pada kegiatan industri yang menghasilkan sisa buangan pada proses produksi (pengolahan bahan baku menjadi produk).

Secara umum dapat dikemukakan bahwa limbah adalah hasil buangan yang berasal dari aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari, industri maupun tempat-tempat umum lainnya yang mengandung bahan-bahan yang membahayakan dalam kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian hidup. Perlu adanya penanganan untuk mengurangi limbah tersebut, apabila tidak dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu akan berbahaya dan berdampak langsung terhadap lingkungan.

Limbah cair sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh dari limbah cair biasanya banyak dibuang di sungai, selokan, kamar mandi dan dianggap bentuknya yang cair sehingga mudah dibuang dengan dialirkan di berbagai tempat. Limbah cair yang berasal dari industri biasanya telah memiliki pengolahan limbah (IPAL) sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Limbah cair juga memiliki standart baku mutu untuk menetapkan kadar diperbolehkan limbah tersebut dibuang pada lingkungan.

2.2 Karakteristik Air Limbah

Industri peternakan sapi termasuk cenderung memiliki kandungan air limbah dengan kadar organiknya yang tinggi. Karakteristik limbah diketahui dari beberapa parameter pada kualitas air. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, berikut parameter limbah cair industri peternakan sapi:

2.2.1 *Total Suspended Solid (TSS)*

Total padatan ada berbagai macam antara lain padatan terendap, padatan tersuspensi dan padatan terlarut. Padatan terendap adalah padatan dalam limbah cair yang mengendap pada dasar dalam waktu 1 jam. Padatan ini biasanya diukur pada kerucut *imhoff* berskala dan dilaporkan sebagai ml padatan terendap per liter. Padatan terendap merupakan indikator jumlah padatan limbah yang akan mengendap pada alat penjernih dan kolam pengendap (Metcalf & Eddy, 1991).

Padatan tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, *silt*, lempung, atau berasal dari zat organik asam vulvat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini dapat berasal dari mikroorganisme misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

Zat terlarut (*dissolved substances*) yakni semua senyawa yang larut dalam air, dengan ukuran kurang dari beberapa nanometer. Senyawa-senyawa ini umumnya berupa ion positif atau ion negatif. Selain itu juga termasuk gas-gas yang terlarut misalnya oksigen, karbondioksida, *hydrogen sulfide*, dan lain-lain (Said, 2017).

TSS 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 1,58 µm. (Metcalf & Eddy, 1991). *Total Suspended Solid (TSS)* pada air buangan kawasan industri ini adalah 1500 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar padatan yang

tersuspensi (TSS) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L. (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5, 2014)

2.2.2 Derajat Keasaman (pH)

Salah satu parameter kualitas air limbah yang terpenting adalah konsentrasi ion hidrogen. pH biasanya digunakan untuk menunjukkan konsentrasi dari ion hidrogen tersebut. Konsentrasi pH yang sesuai bagi kehidupan biologis antara 6-9. Air limbah yang memiliki konsentrasi pH yang sangat asam atau basa akan sulit untuk diolah dengan pengolahan biologi. Jika pH air limbah tidak diolah sesuai dengan baku mutu dan kemudian dibuang ke lingkungan maka dapat mengubah atau mencemari konsentrasi pH natural di badan air. Pengukuran pH dapat dilakukan menggunakan pH meter (Metcalf & Eddy, 2003).

Disosiasi molekul air berhubungan erat dengan konsentrasi pH. Air akan berdisosiasi menjadi ion hidrogen dan hidroksil seperti rumus kimia ini:



Kemudian menerapkan hukum *mass action* dengan rumus (2-1) maka:

$$\frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K_w \quad (2-2)$$

pOH dapat menentukan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidroksil untuk air dengan temperature 25°C

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (2-3)$$

pH pada air buangan kawasan industri ini adalah 8,5 didapat dalam jurnal hasil penelitian karakteristik air limbah industri peternakan sapi (Bintang *et al.*, 2019). Sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dalam batas 6-9 (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5, 2014). Jadi dapat dikatakan pH dalam pengolahan air limbah industri peternakan sapi ini memenuhi batas yang ditentukan.

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah 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). (Syed R. Qasim, 1985). Atau

kebutuhan udara untuk mengoksidasi bahan organik supaya terdegradasi secara kimia. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD *ultimate* meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat.

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD atau COD dari air limbah adalah berkisar dari 0.3 sampai 0.8. Dimana jika rasio BOD atau COD ≥ 0.5 maka air limbah dapat diolah menggunakan proses biologi. Sedangkan jika rasio BOD atau COD < 0.3 maka tidak dapat diolah menggunakan proses biologis karena memungkinkan terdapat banyak senyawa racun yang dapat membunuh bakteri. Kandungan COD pada air buangan kawasan industri ini adalah 3000 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L. (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5, 2014).

2.2.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi secara biokimia zat-zat organik. Hasil dari tes BOD digunakan untuk menghitung perkiraan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan zat organik secara biologi, untuk menentukan dimensi atau ukuran dari unit pengolahan, untuk menghitung efisiensi beberapa proses pengolahan dan melakukan pengolahan sehingga parameter air limbah dapat sesuai dengan baku mutu.

Ketika oksigen yang dibutuhkan tercukupi, dekomposisi biologis air limbah secara aerobik akan terus terjadi sampai semua limbah dikonsumsi. Tiga atau lebih proses yang berbeda akan berlangsung. Pertama, sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan

selama oksidasi. Katika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengkonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hydrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel. Ketiga proses tersebut memiliki reaksi kimia sebagai berikut:

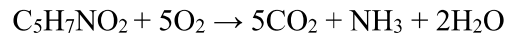
Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



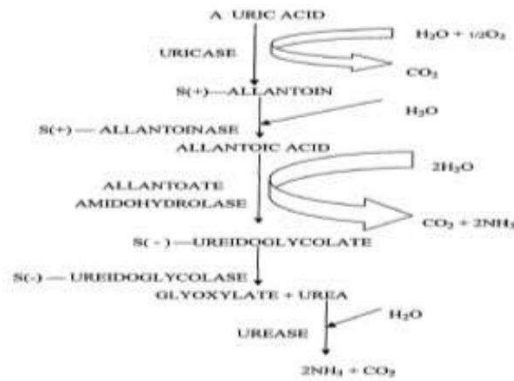
Kandungan BOD pada air buangan kawasan industri ini adalah 1500 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 100 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5, 2014).

2.2.5 Ammonia (NH₃-N)

Ammonia-nitrogen (NH₃-N) Kandungan NH₃-N air buangan kawasan industri ini adalah 375 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 25 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5, 2014). Kandungan ammonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan ammonia dalam air berupa ammonia terlarut (NH₃) dan ion amonium (NH₄⁺). Ammonia bebas (NH₃) yang tidak berionisasi akan bersifat toksik. Kadar ammonia bebas meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu perairan.

Sifat toksik pada ammonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi ammonia pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan ammonia pada pH tinggi juga akan berifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan kadar oksigen terlarut akan meningkatkan toksisitas ammonia dalam perairan (Al Kholif, 2007).

Amoniak yang terdapat dalam air limbah industri ini merupakan amoniak organik yang merupakan hasil dari kotoran sapi.



Gambar 2. 1 Proses Pembentukan Amonia
(Sumber: Heij & Schneider, 1991)

2.3 Unit Pengolahan

Tujuan utama pengolahan limbah adalah mengurangi partikel-partikel, BOD dan COD, membunuh organisme patogen, menghilangkan nutrisi, mengurangi komponen beracun, mengurangi bahan-bahan yang tidak dapat di degradasi agar konsentrasinya menjadi lebih rendah. Kegiatan pengolahan air limbah perlu dikelola dengan baik tergantung dari jenis kandungan limbahnya. Pengolahan terhadap tingkat perlakuannya dan pengolahan terhadap sifatnya. Dilihat dari tingkat perlakuannya proses pengolahan air limbah terdiri dari empat tahapan dalam pengolahan air limbah, yakni:

1. Pengolahan Pendahuluan (*Pre - Treatment*)
2. Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)
3. Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)
4. Pengolahan Ketiga (*Tertiary - Treatment*)
5. Pengolahan Lumpur (*Sludge - Treatment*)

Pada pengolahan limbah industri peternakan sapi ini pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Dalam pengolahan pendahuluan, memiliki peralatan limbah cair agar memiliki homogenitas dan memudahkan bagi pengolahan tingkat lanjut. Disinilah ada dua (2) kegiatan yang dilakukan dalam tahapan pengolahan pendahuluan, yaitu:

- 1) Pengambilan benda-benda terapung dengan cara melewatkan air limbah melalui para-para atau saringan kasar atau dengan alat pencacah (*communitor*) untuk memotong zat padat yang terdapat pada air limbah.
- 2) Pengambilan benda-benda terendap seperti pasir. Digunakan bak penangkap pasir yang bertujuan untuk menghilangkan kerikil halus, koral, atau zat padat. Bak pengendap disediakan untuk mencegah terjadinya kerusakan alam akibat pengikisan dan terganggunya saluran.

Selain untuk menghilangkan padatan besar, pengolahan awal dibutuhkan untuk melindungi unit pengolahan selanjutnya dari kerusakan akibat benda asing (Richard & Reynold, 1995). Unit proses pengolahan untuk *pre-treatment* untuk kawasan industri yaitu sebagai berikut:

1. Saluran Pembawa

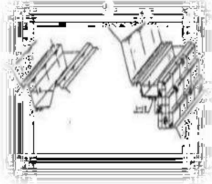
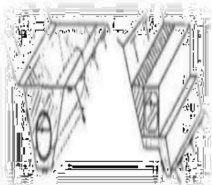
Saluran pembawa adalah saluran yang menyalurkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan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

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. Sedangkan 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.

Saluran 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 atau *slope* (m/m). Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol. Atau apabila terjadi jika ada ukuran screen lebih besar dari saluran, maka peletakan screen dipasang di bak kontrol.

Tabel 2. 1 Tipe-Tipe Saluran Pembawa

Tipe	Gambar	Keuntungan & Permasalahan	Kekhasan Strukturnya
Saluran Pembawa		<p><u>Keuntungan :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Relatif Murah 2. Mudah mengkonstruksinya <p><u>Permasalahan:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kemungkinan aliran sedimen dari lereng di atasnya 2. Tingginya tingkat jatuh daun-daunan 	Saluran tanah sederhana, Jalur saluran (jalurpasangan batu basah atau kering, jalur beton), pagar saluran (terbuat dari kayu, beton, atau tembaga), jalur saluran berbentuk lembaran, saluran berbentuk setengah tabung (seperti pipa-pipa yang berbelok-belok, dll)
Pipa Tertutup saluran Tertutup		<p><u>Keuntungan :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar Rendahnya rata-rata sedimen dan daun-daunan yang jatuh di saluran <p><u>Permasalahan:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya 	Tabungnya yang dipendam (hume, PVC, atau FRPM), Box culvert, Pagar saluran dengan tutupnya

(Sumber: Kriteria Teknis Prasarana & Sarana Pengelolaan Air Limbah PU, 2006)

Pada saluran pembawa ini air limbah dari proses produksi di alirkan ke bak pengumpul atau sumur pengumpul atau bak equalisasi.

Rumus yang digunakan pada unit ini adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{v}$$

Dengan :

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/s)

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A}{B}$$

Dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = Lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Kedalaman total (H_{total})

$$H_{total} = H + (\%Fb \times H)$$

Dengan:

H = kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

Fb = 5 – 30% ketinggian

- Cek kecepatan

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dengan:

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

Q = Debit Limbah (m³/s)

- Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H}$$

Dengan:

R = Jari-jari hidrolis (m/s)

B = Kedalaman air dalam saluran pembawa (m)

H = Lebar saluran pembawa

- *Slope* Saluran

$$S = \left(\frac{nv}{R^{2/3}} \right)^2$$

Dengan:

S = Kemiringan saluran (m/m)

n = koefisien kekasaran *Manning*

v = Kecepatan fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

R = jari jari Hidrolis (m)

- *Headloss* saluran

$$H_f = S \times L$$

Dengan:

H_f = *Headloss* saluran (m)

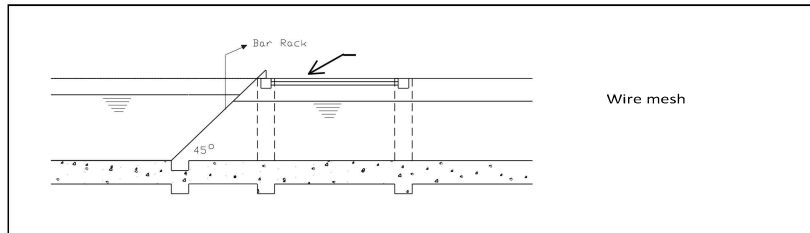
S = *slope* saluran (m/m)

L = panjang saluran (m)

2. Penyaringan (*Screening*)

Screen bertujuan untuk menyisahkan zat padat kasar yang terdapat pada air limbah dengan menggunakan sekat berjarak, agar padatan tersebut tersangkut dan tidak mengganggu pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003). 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 berbentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang di bersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemirangan 60° terhadap horisontal.

Bagian-bagian dari screen terdiri dari batang-batang yang dipasang secara paralel, kawat atau *grating*, *perforated plate* yang biasa disebut sebagai *bar rack* atau *screen* kasar yang digunakan untuk meremovalkan bahan-bahan yang kasar dan umumnya memiliki bukaan yang berbentuk bulat atau persegi empat. Dan cara pembersihan ada dua cara yaitu secara manual dan mekanis. Perbedaan *screen* kasar dan halus adalah pada jauh dekatnya jarak antara *bar screen*.



Gambar 2. 2 *Screening*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

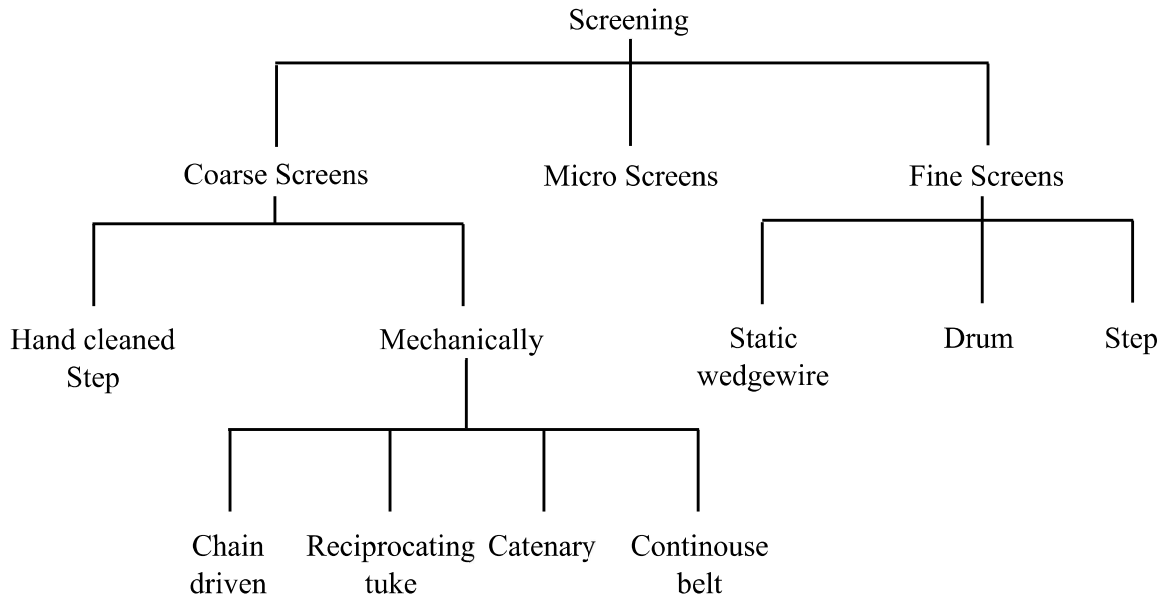
Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan 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*. *Coarse screen* mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inch). Sedangkan *fine screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inch). *Microscreen* pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari *effluent*.

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.

Adapun tipe-tipe *screen* yang digunakan dalam pengolahan air limbah, dapat dilihat pada bagan berikut ini.



Gambar 2. 3 Tipe-Tipe *Screen*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Pada unit *screen* mempunyai banyak tipe, antara lain:

1. Coarse Screens atau Bar Screen (Penyaring Kasar)

Screen ini berbentuk seperti batangan paralel atau biasa disebut *bar screen* yang bertujuan untuk menyisahkan padatan besar dan kasar seperti ranting pohon, sampah daun, sampah plastik, sampah rumah tangga dan lainnya. Adanya *screen* ini untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan alat lain dari kerusakan atau tersebut oleh benda-benda yang tidak seharusnya masuk ke proses pengolahan. Pembersihan pada *coarse screen* atau *bar screen* ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan manual dan mekanik. Ukuran celah pada *coarse screen* biasanya berkisar antara 6 mm hingga 150 mm (Metcalf & Eddy, 2003). 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, antara lain:

a. *Bar Screen Manual*

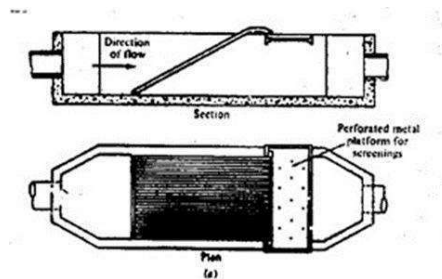
Pada *bar screen* tipe manual, metode pembersihannya dilakukan secara manual. Pada tipe manual ini, selain digunakan untuk melindungi peralatan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) juga dapat digunakan sebagai cadangan bagi tipe mekanik.

Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan beberapa bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah alirannya yaitu sekitar 0,3 m/detik hingga 0,6 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit.

Jarak antar batang atau *bar* pada *screen* biasanya 20 mm - 40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi panjang. *Bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30° hingga 45° terhadap horizontal.



Gambar 2. 4 Manual Bar Screen

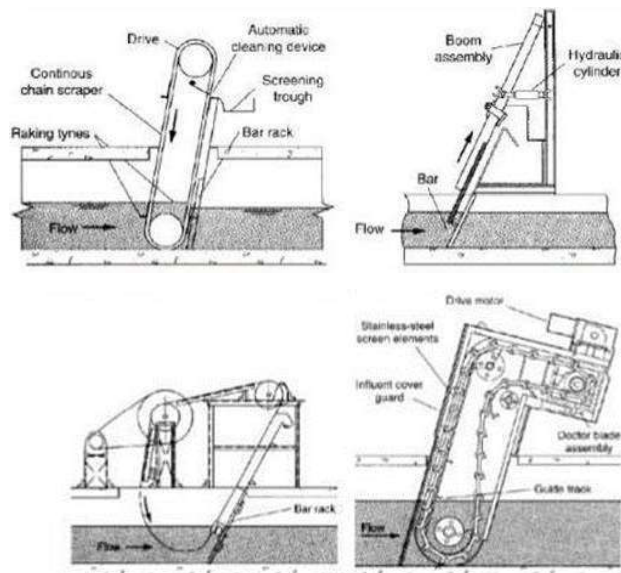


Gambar 2. 5 Denah dan Potongan *Screen* Pembersih Manual
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

b. *Bar Screen* Mekanik

Pada *bar screen* tipe mekanik ini merupakan tipe yang paling umum digunakan karena tidak memerlukan operator untuk membersihkan permukaannya. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembersihan secara mekanik ini terbuat dari *stainless steel* dan plastik. Tipe-tipe *bar screen* secara mekanik yaitu sebagai berikut:

- *Chain Driven Screen*
- *Riciproating Rake Screen*
- *Catenary Screen*
- *Continouse Belt Screen*



Gambar 2. 6 Tipe *Bar Screen* dengan Pembersihan Secara Mekanik

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *coarse screens* baik secara manual maupun mekanik, terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 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	°	30-45	0-30	°	30-45	0-30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Minimum	Ft/s		1,0-1,6	m/s		
Headloss	In	6	6-2,4	Mmm	150	150-600

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

2. Fine Screens (Penyaring Halus)

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm (Metcalf & Eddy, 2003). 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 pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/detik). *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 (*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 yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama atau *primary clarifier*).



Gambar 2. 7 *Rotary Drum Fine Screens*
(Sumber: Irman, 2015)

Tabel 2. 3 *Persen Removal Fine Screens*

Jenis Screen	Luas Permukaan		Persen Removal	
	inch	mm	BOD (%)	TSS (%)
<i>Fixed parabolic</i>	0.0625	1.6	5 – 20	5 – 30
<i>Rotary drum</i>	0.01	0.25	25 – 50	25 – 45

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

Tabel 2. 4 *Klasifikasi Fine Screen*

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25- 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless- steel	Pengolahan Primer

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		In	Mm		
Drum (berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel.	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel.	Pengolahan Primer Meremoval residual dari
	Halus		6 - 35 μm	Stainless-steel dan kain polyester	suspended solid sekunder
<i>Horizontal reciprocating</i>	Sedang	0,06 - 0,17	1,6 - 4	Batangan stainless-steel	Gabungan dengan saluran airhujan
<i>Tangential</i>	Halus	0,0475	1200 μm	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

3. *Microscreens*

Microscreens bertujuan untuk menyisihkan padatan halus serta zat atau material yang mengapung seperti algae yang berukuran kurang dari 0,5 μm . 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 mm - 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 & Eddy, 2003).



Gambar 2. 8 Sketsa Bagian *Microsreens*
(Sumber: Irman, 2015)

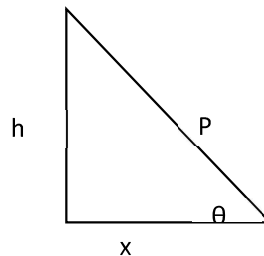
Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Tinggi Bar Screen

$$H_{sal} = H_{air} + \text{Freeboard}$$

Dengan:

H_{sal} = tinggi saluran (m)



- Dimensi Bar Screen

Panjang kisi (P)

$$P = \frac{h}{\sin \theta}$$

$$X = P \times \cos \theta$$

Dengan:

θ = sudut kemiringan kisi

h = tinggi *bar screen* (m)

x = jarak kemiringan kisi (m)

- Jumlah kisi

$$W_s = n \cdot d + (n+1) r$$

Dengan:

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

r = jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - n d$$

Dengan:

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah kisi

d = lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui screen

$$v_i = \frac{Q}{W_c \cdot h}$$

Dengan:

v_i = kecepatan yang melalui screen (m/s)

Q = debit limbah (m³/s)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = tinggi *bar screen* (m)

- *Headloss* pada *bar screen*

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{v_i^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Dengan:

H_f = *Headloss* (m)

c = Koef. Saat non *Clogging*

v_i = Kecepatan yang melalui *screen* (m/s)

v = kecepatan perencanaan (m/s)

2.3.2 Pengolahan Pertama (*Primary - Treatment*)

Pada proses ini terjadi proses fisik dan kimia. Proses fisik dapat berupa pengendapan pertama untuk memisahkan padatan tersuspensi dan flotasi yang berfungsi untuk meremoval minyak dan lemak. Pada proses ini umumnya mampu mereduksi BOD dan antara 30% – 40% dan mereduksi TSS 50% – 65% (Syed R.Qasim, 2000). Pengolahan primer (*Primary Treatment*) yang dibutuhkan untuk mengolah limbah cair industri peternakan sapi ini meliputi:

1. Bak Ekualisasi

Tujuan proses equalisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak equalisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Tujuan proses equalisasi untuk mengolah limbah industri adalah:

1. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah *shock loading* pada pengolahan biologis.
2. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang diisyaratkan untuk proses netralisasi.
3. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik-kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.

4. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
5. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.

Pencampuran selalu diberikan pada proses ekualisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD 10%-20% tersisihkan (Reynold, 1995) oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Metode yang digunakan pada proses pencampuran antara lain :

1. *Distribution of inlet flow and baffle*
2. *Turbine mixing*
3. *Diffused Air Aeration*
4. *Mechanical Aeration*

Power yang dibutuhkan apabila menggunakan *surface aerator* sebesar 0,02 – 0,04 hp/ 10³ gal (0,004 – 0,008 Kw/m³). Udara yang dibutuhkan untuk *diffuser* air aerator sebesar 0,01-0,015 m³/m³.min (1,25-2,0 ft³ udara/ gal.min).

Bak Ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2004).

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

- Volume penyimpanan diakhir periode waktu

$$V_{ec} = V_{ep} + V_{ic} + V_{oc}$$

Dengan:

V_{ec} = *Volume in the equalization basin at the end of current time periode*

V_{ep} = *Volume in the equalization basin at the end of previous time periode*

V_{ic} = *Volume of inflow during the current time periode*

V_{oc} = *Volume of outflow during the current time periode*

- *Volume cumulative*

$$V_c = Q_{average} \times \text{waktu detensi}$$

- Volume bak kontrol (V)

$$V = P \times L \times T$$

Dengan:

V = volume bak kontrol (m³)

L = panjang bak (m)

B = lebar bak (m)

H = tinggi bak + *freeboard*

- Debit yang dihisap ke IPAL (Qipal)

$$Q_{ipal} = \frac{V_k \text{ jam puncak} - V_1}{\text{waktu detensi}}$$

Dengan:

Qipal = debit yang akan diolah IPAL

VK = volume komulatif pada jam puncak

V1 = volume komulatif

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2004)

2. Bak Penampung

Bak penampung bertujuan untuk menampung air sementara dan padatan kasar yang mudah mengendap dan terdapat pada aliran air limbah seperti pasir (Metcalf & Eddy, 2003). Selain bertujuan untuk menampung air, bak penampung juga berfungsi untuk mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang akan diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja bak penampung atau bak penampung ini adalah ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung. Pada bak penampung debit air limbah diatur agar dapat memenuhi kriteria perencanaan pada unit bangunan selanjutnya.

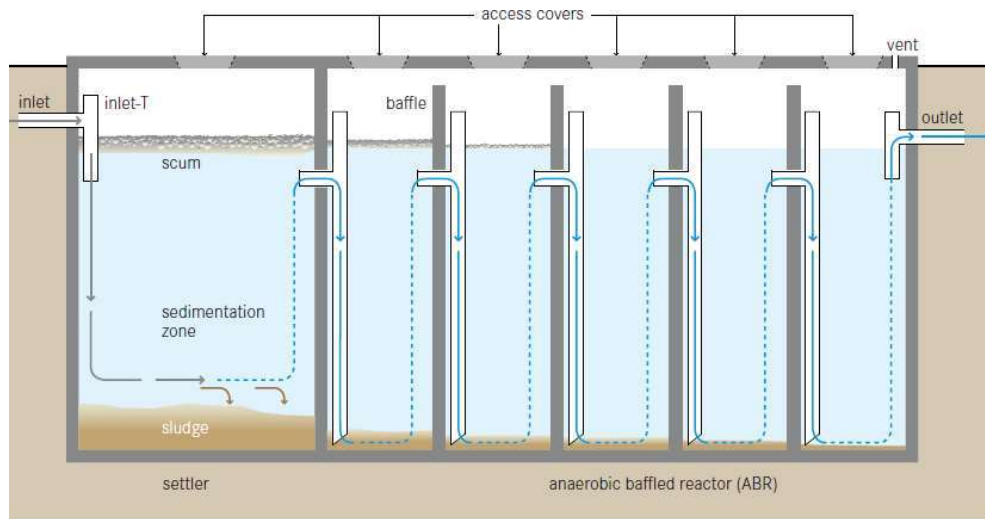
2.3.3 Pengolahan Kedua (*Secondary - Treatment*)

Pengolahan kedua ini mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kotoran yang ada dan sebagainya. Pengolahan Sekunder akan

memisahkan komponen organik terlarut dengan proses biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik.

1. *Anaerob Baffled Reactor (ABR)*

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



Gambar 2.9 *Anaerobic Baffle Reactor*

(Sumber: Tilley *et al*, 2014)

ABR menggabungkan proses sedimentasi dan penguraian material organik oleh mikroorganismenya dalam satu sistem, di mana proses sedimentasi terjadi pada kompartemen pertama dan proses penguraian material organik pada beberapa kompartemen selanjutnya. Mikroorganismenya 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, 2016).

2. *Upflow Anaerobik Sludge Blanket (UASB)*

Pada prinsipnya reaktor UASB terdiri dari lumpur padat yang berbentuk butiran. Lumpur atau sludge tersebut ditempatkan dalam suatu reaktor yang didesain dengan aliran ke atas. Air limbah mengalir melalui dasar bak secara merata

dan mengalir secara vertikal, sedangkan butiran sludge akan tetap berada atau tertahan dalam reaktor.

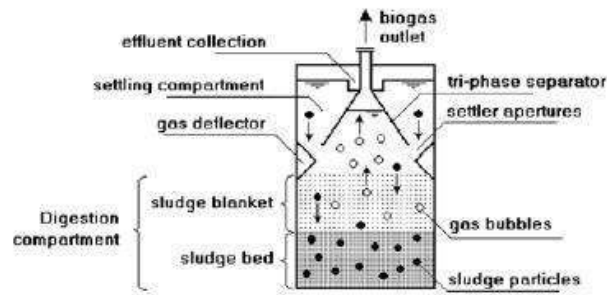
Karakteristik pengendapan butiran sludge dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan upflow yang harus dipelihara dalam reaktor. Biasanya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0,5 - 0,3 m/jam. Untuk mencapai formasi *sludge blanket* yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (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. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat *gas-solid-liquid* separator yang ditempatkan di bagian atas reaktor. Gas yang terbentuk dapat ditampung dalam separator tersebut dan sludge dikembalikan lagi ke reaktor.

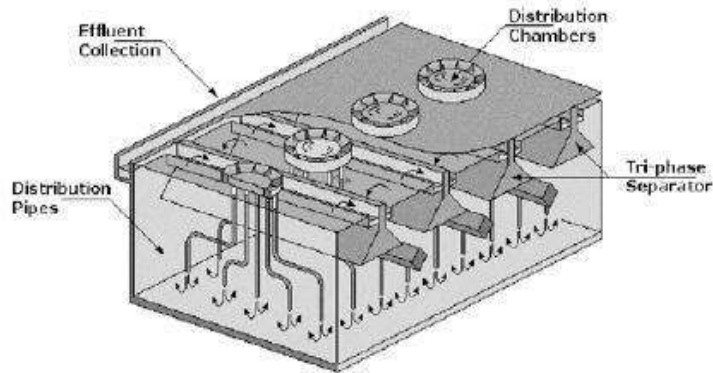
Masalah yang dihadapi pada UASB terutama adalah *sludge* yang bergerak naik yang disebabkan oleh turunnya *densitas sludge*. Disamping itu juga turunnya aktivitas spesifik butiran. Beragamnya densitas *sludge* memberikan ketidakseragaman *sludge blanket* sehingga sebagai akibatnya *sludge* akan ikut 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 dan air limbah yang mengandung protein atau lemak menyebabkan pembentukan busa. Keuntungan dari bangunan UASB adalah:

- Kebutuhan energi rendah
- Biogas berguna
- Kebutuhan nutrient sedikit
- Sludge mudah diolah/dikeringkan
- Tidak mengeluarkan bau dan kebisingan
- Mempunyai kemampuan terhadap fluktuasi dan *intermittent load*



Gambar 2. 10 Skema UASB
(Sumber: Chernicharo, 2007)



Gambar 2. 11 Rectangular UASB
(Sumber: Chernicharo, 2007)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan reaktor UASB adalah sebagai berikut:

- Volume reaktor

$$V = \frac{Q \times S_o}{OLR}$$

Dengan:

Q = debit tiap reaktor (m³/s)

S_o = konsentrasi COD *influent* (kg/m³)

OLR = *Organic Loading Rate* (kg COD/ m³.hari)

- *Hydraulic Retention Time*

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q}$$

Dengan:

HRT = *Hydraulic Retention Time* (s)

- Dimensi reaktor

$$A = \frac{V}{H}$$

Dengan:

A = Luas permukaan reaktor (m²)

V = volume reaktor (m³)

H = tinggi reaktor (m)

- *Solid Retention Time*

$$X_{vss}(V) = \frac{Q(YH)(So - S)(SRT)[1 + fd \cdot bh(SRT)]}{1 + bh(SRT)} + (nbVSS)(Q)(SRT)$$

Dengan:

SRT = *Solid Retention Time* (hari)

YH = *Synthesis Yield* (g VSS/g COD)

So – S = removal COD

fd = 0.1 g VSS cell debris/ g VSS biomass decay

bh = *Decay Coefficient* (g/g.hari)

- Produksi Lumpur Perhari

$$P_{X, vss} = \frac{X_{vss}(V)}{SRT}$$

Dengan:

P_{X, vss} = produksi lumpur per hari (kg VSS/hari)

- Kelebihan lumpur

$$P_{X, vss} = Q(X_e) + Q_w(X)$$

Dengan:

X_e = VSS *effluent* (mg/L)

X = konsentrasi lumpur (kg VSS/m³)

Q_w = debit lumpur (m³/hari)

- Produksi gas metan

$$P_{x, \text{ bio}} = P_{X, \text{ VSS}} - nbVSS(Q)$$

Dengan:

$P_{x, \text{ bio}}$ = produksi biogas (g VSS/ hari)

Produksi Gas Metan pada suhu 0⁰C

$$= \text{CH}_4 \text{ COD} \times 0.35 \text{ l/g COD} \times 1 \text{ m}^3/10^3 \text{ liter}$$

Produksi Gas Metan pada Suhu 30⁰C

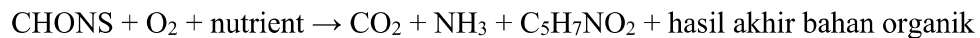
$$= \text{Produksi Gas Metan pada suhu } 0^0\text{C} \times \frac{(273.15+30)^{\circ}\text{C}}{273.15^{\circ}\text{C}}$$

Energi gas Metan = Produksi Gas Metan pada suhu 0⁰C x 38846 kJ/m³

3. *Activated Sludge*

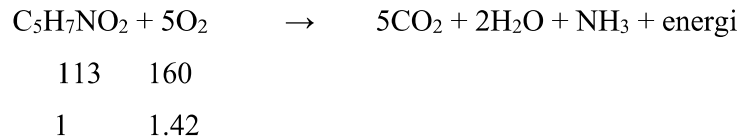
Pengolahan lumpur aktif adalah sistim pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah *heterotrophic*. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon adalah organik karbon. BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat. Reaksi oksidasi dan sintesis sel adalah sebagai berikut:

bakteri



Sel baru

Sintesis/respirasi



Bahan organik dalam air buangan akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (*sludge*). Bakteri juga perlu respirasi dan melakukan sintesa untuk kelangsungan hidupnya. Pada reaksi respirasi terlihat bahwa ultimate BOD untuk sel sebesar 1,42 kali konsentrasi sel.

Modifikasi Proses

Modifikasi proses pada lumpur aktif system dapat dilakukan dengan:

- Merubah konfigurasi system *inlet*
- Merubah konfigurasi parameter utama seperti F/M ratio, rasio resirkulasi, umur lumpur dan lain-lain

Tipe-tipe hasil modifikasi dan apa yang membedakannya, adalah sebagai berikut:

1) Step Aerasi

- a. merupakan tipe *plug flow* konvensional yaitu rasio F/M menurun menuju ke outlet.
- b. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik di tanki aerasi dengan maksud untuk menyetarakan F/M rasio dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal.
- c. Keuntungannya adalah mempunyai *volumetric loading* yang tinggi dan HRT yang lebih pendek.

2) *Tapered Aeration*

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

3) *Contact Stabilisasi*

Pada sistem ini terdapat dua tangka yaitu:

- *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb organik untuk proses lumpur aktif.
- *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah di adsorb (proses stabilisasi)

4) *Pure Oxygen*

Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai F/M ratio dan *volumetric loading* yang tinggi, serta HRT yang lebih pendek.

5) *Oxidation Ditch*

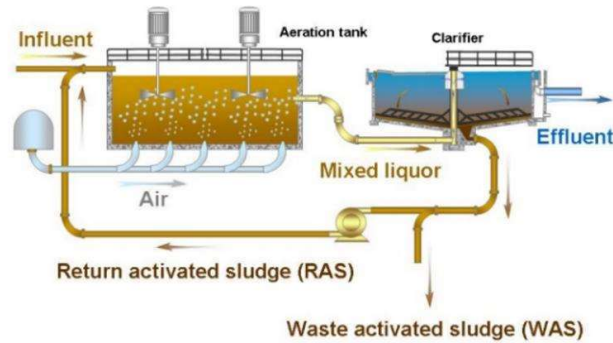
Bentuk *oxidation ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 – 0,35 m/detik.

6) *High Rate Aeration*

Kondisi ini dicapai dengan meningkatkan harga rasio resirkulasi (r), atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 – 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganismenya yang lebih besar, sehingga mempunyai kinerja F/M dan Volumetric loading yang tinggi, dan HRT yang lebih pendek. Pada sistem ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah.

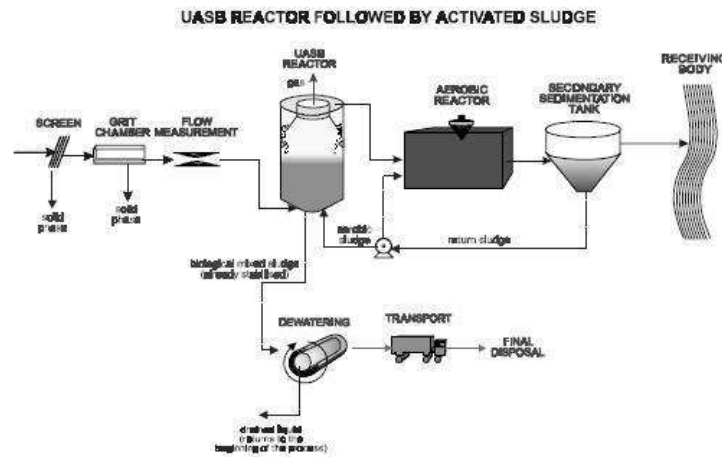
7) *Extended Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan HRT yang lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang/dihasilkan akan lebih sedikit.



Gambar 2. 12 Skema *Activated Sludge*

(Sumber: Irman, 2015)

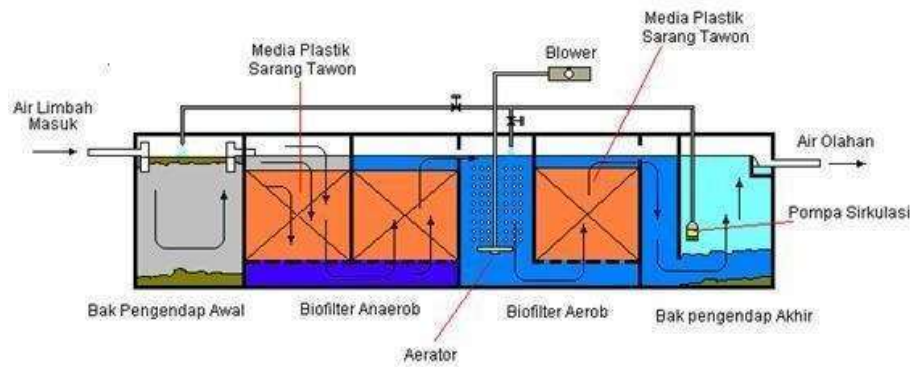


Gambar 2. 13 Flowsheet UASB yang diikuti dengan AS (Anaerob-Aerob)

(Sumber: Sperling, 2007)

4. Biofilter Aerob

Biofilter Aerob adalah unit pengolahan air limbah dengan prinsip biofilm atau biofilter terendam yang dialirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang telah terisi dengan media untuk pengembangbiakan bakteri dengan penambahan oksigen melalui aerasi. Terdapat beberapa cara untuk penginjeksian oksigen antara lain aerasi samping, aerasi tengah, aerasi merata, aerasi eksternal, aerasi dengan *air lift pump*, dan aerasi dengan cara mekanik. Sistem aerasi atau injeksi oksigen bergantung pada jenis media yang dipakai dan efisiensi yang akan dicapai (Said, 2017).



Gambar 2. 14 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob

(Sumber: Said, 2017)

Menurut Said (2017), beban pencemar biofilter aerob lebih rendah sehingga ditempatkan setelah proses anaerob terjadi. *Effluent* pengolahan anaerobic masih mengandung zat organik dan nutrisi dikonversi menjadi sel bakteri baru, hydrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen. Parameter polutan yang ada pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, dan fosfor akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Parameter polutan tersebut didegradasi oleh mikroorganismenya yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut. Sehingga energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa.

Air dilimpaskan menuju ke biofilter dari bak pengendap. Tujuan dari dilewatkannya dahulu air ke bak pengendap adalah untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran organik yang tersuspensi. Bak pengendap juga berfungsi

untuk mengatur aliran. Di dalam reaktor biofilter diisi dengan media plastik tipe sarang tawon serta pemberian aerasi dengan menghembuskan udara melalui diffuser untuk membantu mikroorganisme mengurai zat organik. Mikroorganisme akan tumbuh dan menempel pada media. Mikroorganisme yang tumbuh dapat secara tersuspensi maupun melekat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik, deterjen serta proses nitrifikasi dan penyisihan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini merupakan *contact aeration* (Said, 2017).

Media yang diisi pada ruang bed media memiliki kriteria tersendiri. Beberapa kriteria tersebut antara lain adalah mempunyai luas permukaan spesifik besar, tahan terhadap penyumbatan, dibuat dari bahan inert, harga per unit luas permukaannya murah, ringan, fleksibel, pemeliharaan mudah dan kebutuhan energi kecil. Tujuan dari pemilihan media ini adalah untuk memperoleh luas permukaan yang luas dan murah, biaya konstruksi reaktor rendah dan tidak adanya penyumbatan (Said, 2017).

5. Bak Pengendap

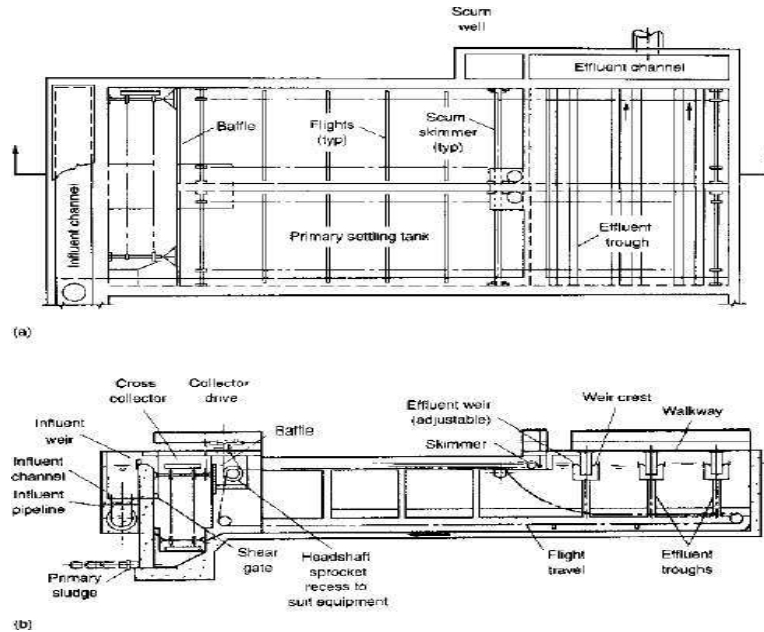
a. Bak Pengendap 1

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).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50% - 70% dari suspended solid tanpa antuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 25% - 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

- a. Aliran angin.
- b. Suhu udara permukaan.
- c. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
- d. Suhu terstratifikasi dari iklim.
- e. Bilangan eddy

1. Rectangular



Gambar 2. 15 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 (Metcalf & Eddy, 2003):

- Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
- Saluran inlet dengan port dan orifice,
- Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*

Pada tangki *circular* pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bagian 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).

Tabel 2. 5 Desain Tangki Sedimentasi

Item	U.S customary units			S.I units		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-1,2	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	Gal/ft ² s	800-1200	1000	m ³ /m ² s	30-50	40
Puncak	Gal/ft ² s	2000-3000	2500	m ³ /m ² s	80-120	100
Item	U.S customary units			S.I units		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Weir loading	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250
<i>Primary settling with waste activated sludge return</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	Gal/ft ² s	600-800	1000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	Gal/ft ² s	1200-1700	1500	m ³ /m ² s	48-70	60
Weir loading	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003)

Tabel 2. 6 Data Perancangan Bak Pengendap I Bentuk Persegi Panjang dan Lingkaran

Item	U.s customary units			S.i unit		
	Units	Rentang	Typical	Units	Rentang	Typical
Persegi panjang						
Kedalaman	Feet	10-16	14	M	3,0-4,9	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	2,0-4,0	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	3,0-60	12,0-45
Kemiringan dasar	Ln/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 & Eddy. 2003)

b. Bak Pengendap II (*Secondary Clarifier*)

Clarifier digunakan untuk pengolahan lebih lanjut apabila pada pengolahan sebelumnya masih terdapat zat atau kandungan yang masih berbahaya apabila dibuang ke badan air atau ke lingkungan. Pengolahan ini biasanya dilakukan pada pabrik yang menghasilkan air limbah yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen, dan lainnya. Unit bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya.

Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada pengolahan bangunan *clarifier* biasanya 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 *clarifier*. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

Zona *Settling*

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{OFR}$$

dengan:

$$Q = \text{debit limbah (m}^3/\text{s)}$$

$$OFR = \text{Over Flow Rate (m}^3/\text{m}^2.\text{hari)}$$

- Diameter bak pengendap (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

dengan:

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

- Diameter inlet well

$$d_{in\ well} = 20\% \times D$$

dengan:

D = diameter bak (m)

- Volume bak pengendap

$$V = Q \times td$$

dengan:

td = waktu detensi (s)

- Kecepatan pengendapan

$$v_s = \frac{H}{td}$$

dengan:

v_s = kecepatan pengendapan (m/s)

H = kedalaman bak (m)

td = waktu detensi (s)

- Diameter partikel

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

dengan:

d_p = diameter partikel (m)

v = viskositas kinematik (m^2/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Sg = *specific gravity*

Zona Sludge

- Total Lumpur

$$T_L = P_x \times \text{waktu pengurasan}$$

dengan:

T_L = Total lumpur (kg)

P_x = MLVSS (kg/hari)

- Volume lumpur

$$V_L = \frac{TL}{\rho_s}$$

dengan:

ρ_s = massa jenis *sludge* (kg/m^3)

Zona Outlet

- Panjang weir

$P = \pi \times \text{diameter bak}$

dengan:

P = panjang *weir* (m)

- Jumlah V-notch tiap pelimpah

$$n = \frac{\text{panjang keliling weir}}{\text{jarak antar v-notch}}$$

- Debit v-notch

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{Q_{in}}{n}$$

dengan:

Q_{in} = debit limbah masuk (m^3/s)

n = jumlah *v-notch*

- Tinggi air melalui *v-notch*

$$Q_{v\text{-notch}} = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

dengan:

$Q_{v\text{-notch}}$ = debit *v-notch* (m^3/s)

Cd = *Coefficient of Discharge*

H = Tinggi air melalui *v-notch* (m)

2.3.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge - 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:

- a. *Sludge* sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang *responsible* untuk menimbulkan bau.
- b. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- c. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0,25% -12% *solid*).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

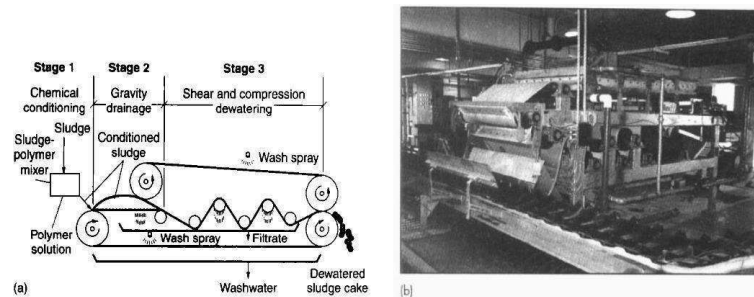
- a. Mereduksi kadar lumpur
- b. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur. Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu *belt-filter press*, yang selengkapnya akan dijelaskan dibawah ini.

1. *Belt-Filter Press*

Sebagian besar dari jenis *Belt-Filter Press*, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Di beberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan *vacuum*, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *Scraper blade* Sistem operasi jenis *belt-filter press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), *belt-filter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung (*compressor*, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt-filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Belt-filter press* ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering *cake* ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2. 16 Instalasi *Belt Filter Press*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

2. *Sludge Drying Bed*

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

Kriteria Rumus (*Sludge Drying Bed*) yang digunakan :

$$V_i = \frac{V \times (1 - p)}{1 - p_i}$$

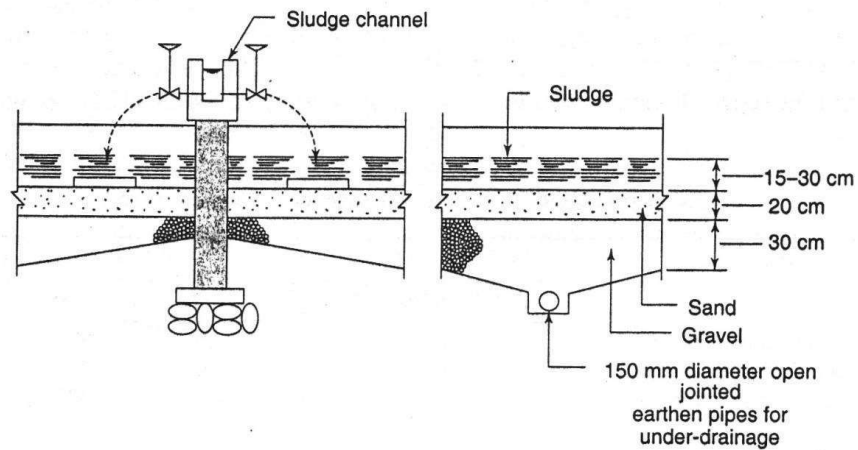
Dengan:

V_1 = volume *cake* kering (m^3 /hari)

V = volume lumpur mula-mula (m^3 /hari)

p = kadar air mula-mula (%)

p_i = kadar air yang diharapkan (%)



Gambar 2. 17 *Sludge Drying Bed*

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

2.4 Persen Removal

Tabel 2. 7 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit	Beban Pencemar	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
Bak Ekualisasi + Sedimentasi I	TSS	23%-47%	Reynold, <i>Unit Operations and Process in Environmental Engineering</i> , hal 158
	BOD	10%-20%	
UASB	COD	90%-95%	Metcalf & Eddy. 2003. <i>WWET Disposal and Reuse 4th edition</i> hal 1007
	BOD	85%-95%	Sperling 2007, <i>Biological Wastewater Treatment Series, Vol 5</i> hal 13
	TSS	85%-95%	
	NH ₃ -N	75%-90%	
Biofilter Aerob	BOD	80%	Nusa Idaman Said, <i>Teknologi Pengolahan Air Limbah</i>
	COD	60%-75%	Sarasdewi (2015). <i>Pengaruh Laju Aliran Terhadap Penurunan Cemaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Sistem Biofilter. Vol 2. Hal 24-25</i>
	NH ₃ -N	90%	

Unit	Beban Pencemar	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
<i>Secondary Clarifier</i>	TSS	60%-80%	Huisman (2004), <i>Sedimentation and Flotation</i> , hal 12
	BOD	30%-50%	

2.5 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. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

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.

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungandengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut:

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake
- d. Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.

2.6 Pompa

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

Tabel 2. 8 Jenis-Jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi	Tipe Pompa	Kegunaan
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Air limbah sebelum diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan effluent
	<i>Peripheral</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Limbah logam, pasir lumpur, air limbah
	<i>Rotor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Minyak, pembuangan gas permasalahan zat-zat kimia pengaliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite Displacement</i>	<i>Screw</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua - Air limbah pertama - Lumpur kasar
	Diafragma Penghisap	<ul style="list-style-type: none"> - Permasalahan zat kimia - Limbah logam

		- Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	<i>Air Lift</i>	- Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur
	<i>Pneumatic Ejector</i>	- Instalasi pengolahan air limbah skala Kecil

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)