

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Domestik

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, limbah cair domestik yaitu air limbah yang bersumber dari rumah susun, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL (instalasi pengolahan air limbah) kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal, lembaga pemasyarakatan, penginapan dan asrama. Limbah domestik yang dibuang ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Adinata, 2020).

Adapun limbah domestik yang diolah memiliki beberapa parameter yang dipertimbangkan untuk merancang bangunan pengolah air limbah domestik yaitu, debit, TSS, pH, BOD, COD, Amonia, minyak & lemak, dan Total Coliform. Bangunan pengolah air limbah domestik diharapkan mampu mengolah limbah domestik sehingga mempunyai karakteristik sesuai dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

2.1.1 Total Suspended Solid

Total Suspended Solid atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi pada air limbah yang mengandung bahan organik dan anorganik yang dapat disaring dengan kertas milipore berukuran pori-pori 0,45 μm . Padatan yang tersuspensi memiliki dampak buruk pada kualitas air karena menghalangi penetrasi matahari terhadap badan air, dan menyebabkan kekeruhan air meningkat karena terganggunya pertumbuhan organisme (Ismail, 2019).

2.1.2 Derajat Keasaman (pH)

Salah satu parameter kualitas air limbah yang terpenting adalah konsentrasi ion hidrogen. pH biasanya digunakan untuk menunjukkan konsentrasi dari ion hydrogen 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, 2003).

2.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. 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/COD dari air limbah adalah berkisar dari 0.3 sampai 0.8. Dimana jika rasio $BOD/COD \geq 0.5$ maka air limbah dapat diolah menggunakan proses biologi. Sedangkan jika rasio $BOD/COD < 0.3$ maka tidak dapat diolah menggunakan proses biologis karena memungkinkan terdapat banyak senyawa racun yang dapat membunuh bakteri (Zhu, 2005).

2.1.4 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. Ketika 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 (Daoliang, 2019).

2.1.5 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan salah satu parameter bahan organik yang menjadi perhatian, karena kandungan dalam perairan menyebabkan kualitas air turun. Sebagian minyak dan lemak mengalami degradasi melalui fotooksidasi spontan dan oksidasi oleh mikroorganisme. Penguraian minyak dan lemak dalam kondisi yang kurang oksigen mengakibatkan bau tengik pada air, hal tersebut terjadi karena faktor penguraian yang tidak sempurna. Kandungan minyak dan lemak yang berlebih memiliki dampak yang nyata terhadap air yaitu dapat mengurangi penetrasi cahaya dan oksigen terhadap permukaan air sehingga mengakibatkan laju proses fotosintesa berkurang.

Minyak lemak terdiri dari 3 (tiga) macam yaitu:

- a. Minyak essensial (minyak asiri)
- b. Minyak mineral, minyak ini mengandung senyawa-senyawa hidrokarbon

c. Minyak yang tidak mudah menguap (trigilliserida)

Sumber minyak antara lain:

a. Hewan

Jaringan minyak dibawah kulit, antara otot-otot, dalam sumsum tulang belakang, dan lain-lain

b. Tumbuhan

Terdapat dalam daun-daunan dan bunga, dalam benih-benih (contohnya: minyak kelapa, kacang, palem, dan sebagainya) (Khan, 2018).

2.1.6 Amonia

Kandungan amonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan. Secara kimia, keberadaan amonia dalam air berupa amonia terlarut (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Amonia bebas (NH_3) yang tidak berionisasi akan bersifat toksik. Kadar amonia bebas meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu perairan.

Sifat toksik pada amonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi amonia pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan amonia pada pH tinggi juga akan berifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan kadar oksigen terlarut akan meningkatkan toksisitas amonia dalam perairan (Ratnayaka, 2009).

2.1.7 Total Coliform

Total koliform adalah suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran. Total koliform yang berada di dalam perairan menunjukkan kemungkinan adanya mikroba yang bersifat enteropatogenik dan atau toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan. Total koliform dibagi menjadi dua golongan, yaitu koliform fekal, seperti *E. coli* yang berasal dari tinja manusia, hewan berdarah panas, dan koliform nonfekal, seperti *Aerobacter* dan *Klebsiella*

yang bukan berasal dari tinja manusia, tetapi berasal dari hewan atau tanaman yang telah mati (Brandt, 2017).

2.2 Bangunan Pengolah Air Limbah Domestik

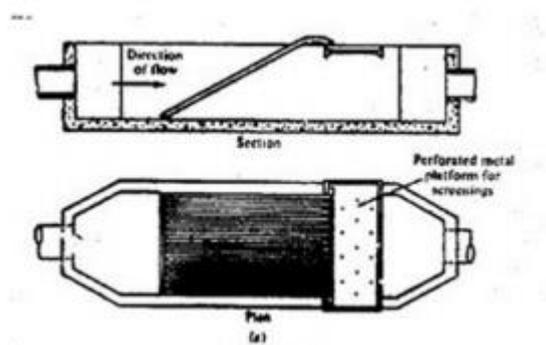
2.2.1 Bangunan Saluran Pembawa dan Bar Screen

Saluran terbuka berfungsi untuk menyalurkan limbah dari outlet limbah proses produksi industry kertas menuju ke unit pengolahan limbah. Terdapat 2 jenis saluran pembawa yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup berupa pipa.

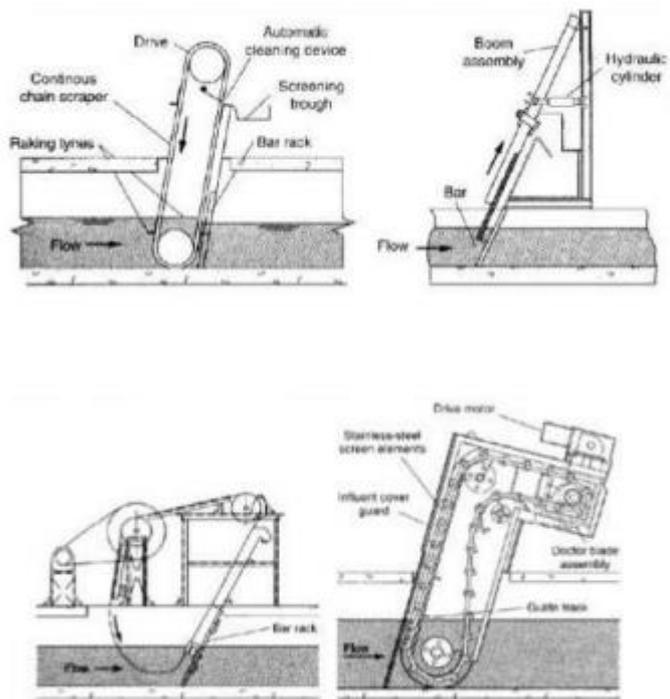
Screening merupakan unit operasi yang umumnya ditemui di instalasi pengolahan air limbah. Fungsi utama penyaringan yaitu menghilangkan bahan bahan kasar dari saluran pembawa agar tidak mempengaruhi proses pengolahan limbah selanjutnya. Screening mempunyai beberapa tipe, antara lain sebagai berikut :

1. *Coarse screens* (Penyaring Kasar)

Dalam pengolahan air limbah, penyaring kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. *Screening* dengan pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari *stainless steel* atau dari plastik. Terdapat beberapa tipe screen secara mekanik, dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. 1 Denah dan Potongan Screen Pembersihan secara manual



Gambar 2. 2 Tipe Bar Screen dengan Pembersihan secara Mekanik

Pada bangunan coarse screens ini terdapat kriteria perencanaan yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Coarse Screens

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
Ukuran batang						
Lebar	In	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5,0-15	5,0-15
Kedalaman	In	1,0-1,5	1,0-1,5	mm	25-38	25-38
Jarak antar batang	In	1,5-2,0	0,3-0,6	mm	25-50	15-75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30-45	0-30	°	30-45	0-30
Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
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	6-24	Mmm	150	150-600

Sumber: *Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition*, Halaman 316

2. Fine screens

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. *Screen* ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). 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*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt.



Gambar 2. 3 Rotary Drum Fine Screens

3. *Microscreens*

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip dari *microscreens* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm (Metcalf, 2003).

2.2.2 Settling-Thickening Tank (Bak Pengendap)

Bak pengendap memiliki 3 fungsi dasar yaitu, pengendapan, penebalan, dan flotasi. Selain itu juga terjadi anaerobic digestion, meskipun bukan merupakan tujuan utama dari bak pengendap ini. Selama proses anaerobik, muncul gas yang akan menjadi gelembung sehingga akan dihasilkan busa.

Dalam bak pengendap, partikel tersuspensi (SS) yang lebih berat dari air akan mengendap di dasar tangki dengan pengendapan secara gravitasi. Partikel yang terjadi terdapat 3 jenis yaitu partikel diskrit, partikel flokulan, dan partikel terhalang (hindered). Partikel yang mengendap akan terkompresi ketika berada di lapisan bawah.

Desain Bak Pengendap

Bak pengendap didesain dengan 2 bagian dengan penggunaan masing-masing selama 2-5 hari. Hal ini dilakukan agar ketika bak pengendapan bisa dikuras ketika tidak dipakai.

Menghitung luas permukaan (S) yang dibutuhkan sesuai dengan kecepatan pengendapan (Vc) berdasarkan debit puncak (Qp).

$$Q_p = Q \cdot C_p / 24$$

Qp : Debit puncak (m³/jam)

Q : Debit harian (m³/hari)

Cp : koefisien debit puncak , 1,6

24 : jumlah jam beroperasi dalam 1 hari

$$S = Q_p / V_c$$

S : Luas Permukaan (m²)

Qp : Debit Puncak (m³/jam)

V_c : Kecepatan pengendapan , 0,5 m/jam

Volume zona penebalan lumpur

Jumlah SS yang masuk (M) ke dalam bak pengendap ditentukan dari konsentrasi awal SS ($C_{i(SS)}$) sebelum masuk ke dalam bak pengendap.

$$M = Q \cdot C_{i(SS)}$$

M : Jumlah SS masuk (kg SS/hari)

Q : Debit harian (m^3 /hari)

$C_{i(SS)}$: konsentrasi awal SS (g SS/L) (5-40 g SS/L)

Jumlah lumpur terendapkan selama 1 hari (M_t) dihitung dengan efisiensi pengendapan SS (e)

$$M_t = M \cdot e$$

M_t : Jumlah lumpur terendapkan selama 1 hari (kg SS/hari)

M : Jumlah SS masuk (kg SS/hari)

e : efisiensi pengendapan SS, 80 %

Volume zona penebalan lumpur (V_t) dihitung berdasar (M_t) dan konsentrasi lumpur yang terendapkan (C_t)

$$V_t = M_t \cdot N / C_t$$

V_t : Volume zona penebalan lumpur (m^3)

M_t : Jumlah lumpur terendapkan selama 1 hari (kg SS/hari)

N : Jumlah hari beroperasi (hari) (2-5 hari)

C_t : konsentrasi lumpur yang terendapkan (60-140 g SS/L)

Konfigurasi bak pengendap

Rasio panjang dan lebar = 0,1 – 0,2 , sehingga didapat luas yang mendekati luas permukaan (S)

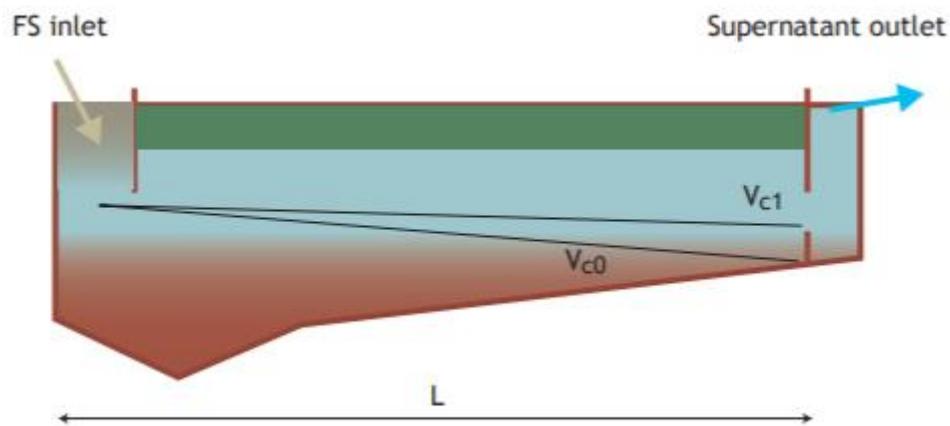
Kedalaman zona

Zona busa : 0,4 m

Zona supernatan (air limbah) : 0,5 m

Zona pemisahan air dan lumpur : 0,5 m

Zona penebalan lumpur : V_t / S (m) (Kone & Peter, 2014)



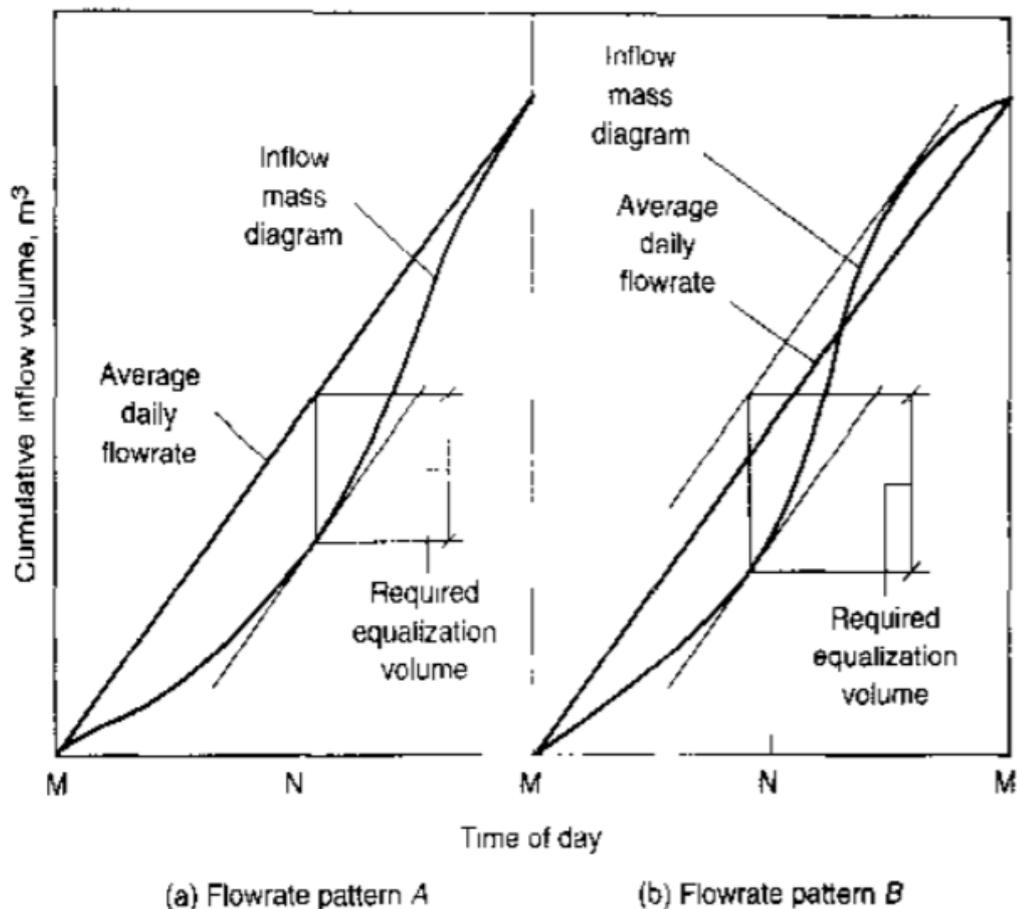
Gambar 2.3 Skema pengendapan pada bak pengendap

2.2.3 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 Equalisasi 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 proses 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.



Gambar 2.4 Pola aliran debit rata-rata pada bak ekualisasi

Pencampuran selalu diberikan pada proses equalisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD (10-20% tersisihkan, sumber: Reynold, Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, hal 158) oleh udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi. Metode yang digunakan pada proses pencampuran antara lain :

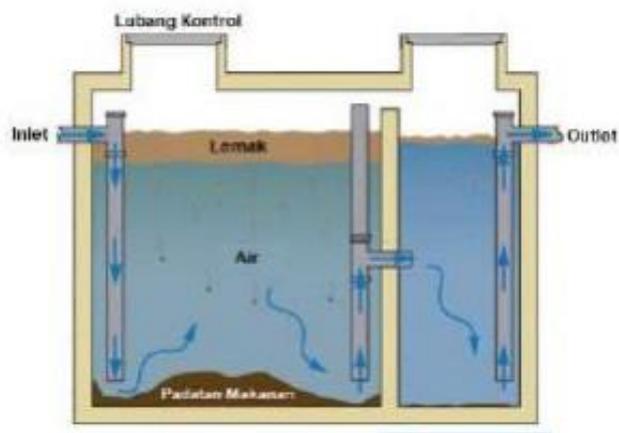
1. *Distribution of inlet flow and baffle*
2. *Turbine mixing*
3. *Diffused Air Aeration*
4. *Mechanical Aeration*

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 Equalisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak equalisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya. (Sumber : Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004, hal 333)

2.2.4 Grease Trap

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

lemak yang tertahan tersebut harus dibersihkan secara berkala untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah terjadinya penyumbatan. *Grease trap* terdiri dari dua kompartemen, yaitu kompartemen pertama (2/3 dari total panjang) dan kompartemen kedua (1/3 dari total panjang). *Grease trap* dilengkapi dengan lubang control (*manhole*) dengan diameter minimum 0,6m. Beberapa penelitian menyebutkan bahawa *grease trap* mampu menyisihkan hingga 80% minyak dan lemak (EPA, 1998), serta 50-80% BOD dan TSS bahkan dalam buku IPLT kementerian PUPR menyebutkan *grease trap* dapat meremoval minyak lemak sampai dengan 95% (Dirjen Cipta Karya, 2018).



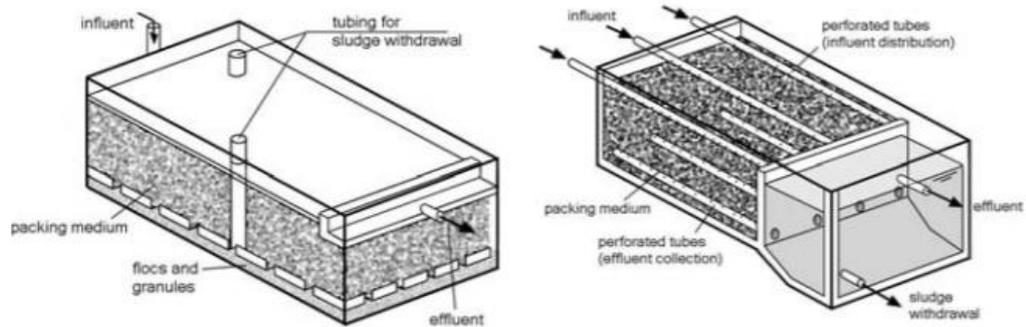
Gambar 2. 5 Skematik Grease Trap

2.2.5 Anaerobic Filter

Anaerobic filter telah mengalami banyak perkembangan sejak awal penemuannya sebagai suatu unit pengolah air limbah domestik dan industri. Filter anaerob pada dasarnya adalah unit kontak, dimana air limbah mengalir melalui padatan penyaring di dalam reaktor. Penyaring dapat berupa lapisan tipis yang berisi banyak ruang seperti media sarang tawon, atau padatan kecil dengan celah yang kecil pula.

Zat organik di dalam air limbah akan mengalami kontak dengan filter dan terdifusi sehingga membentuk biofilm pada filter. Kemudian akan berubah menjadi

output dari unit ini beserta metana dan karbon dioksida. Konfigurasi umum filter anaerob yaitu aliran ke atas dan aliran ke bawah (Augusto & Chernicharo, 2007.).



Gambar 2.6 Konfigurasi Filter Anaerob

Hal yang mempengaruhi filter anaerob

- a. Waktu detensi

$$T = V/Q$$

Dimana T= waktu detensi

V= volume

Q = debit

Waktu detensi yaitu lama waktu air limbah berada di dalam filter anaerob.

Umumnya filter anaerob memiliki waktu detensi dari 4 hingga 10 jam

- b. Suhu

Suhu yang optimum untuk mengolah air limbah dengan filter anaerob adalah 25-38 °C. Hal ini disebabkan karena mikroorganismenya yang berperan dalam proses ini umumnya melakukan metabolisme dengan baik.

- c. Tinggi filter

Tinggi filter yang direkomendasikan adalah antara 0,8 sampai 3 m. Sehingga diharapkan tidak terjadi aliran balik, terutama bila menggunakan aliran dari bawah.

- d. Hydraulic Loading Rate

Yaitu volume air limbah yang diolah setiap luasan unit filter anaerob. Dapat dihitung sebagai berikut

$$HLR = Q/A$$

$$HLR = \text{Hydraulic Loading rate (m}^3/\text{m}^2)$$

$$Q = \text{debit}$$

$$A = \text{luas area filter anaerob}$$

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Filter Anaerob

Design criteria/parameter	Range of values, as a function of the flowrate		
	for Q_{average}	for $Q_{\text{daily-maximum}}$	for $Q_{\text{hourly-maximum}}$
Packing medium	Stone	Stone	Stone
Packing bed height (m)	0.8 to 3.0	0.8 to 3.0	0.8 to 3.0
Hydraulic detention time* (hour)	5 to 10	4 to 8	3 to 6
Surface loading rate (m ³ /m ² ·d)	6 to 10	8 to 12	10 to 15
Organic loading rate (kgBOD/m ³ ·d)	0.15 to 0.50	0.15 to 0.50	0.15 to 0.50
Organic loading in the packed bed (kgBOD/m ³ ·d)	0.25 to 0.75	0.25 to 0.75	0.25 to 0.75

Kriteria Perencanaan :

Biofilter Anaerob

- 1) Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
- 2) Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- 3) Beban BOD/volume media = 0,4 – 4,7 kg BOD /m³.hari
- 4) Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
- 5) Tinggi bed media pembiakkan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- 6) Efisiensi penyisihan
 - BOD = 90 -95%

(Sumber : Said, N.I.Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi. Halaman: 302. Jakarta: Erlangga)

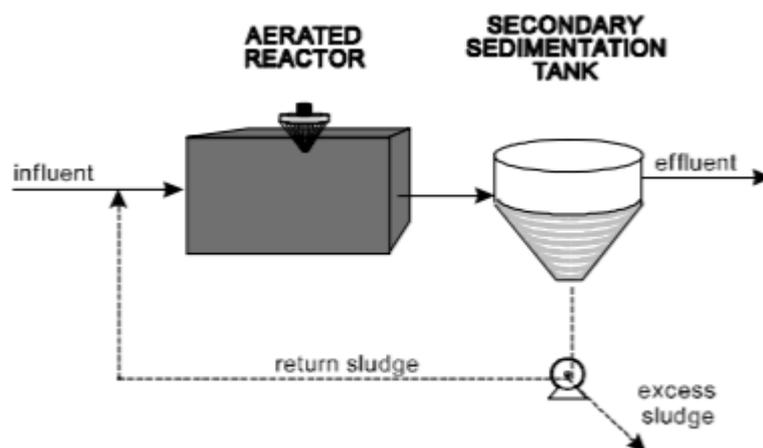
- 7) Media Biofilter
 - Tipe = Sarang Tawon
 - Material = PVC Sheet
 - Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
 - Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m²/m³

- Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
- Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas Rongga = 0,98

(Sumber : Said, N.I. Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi. Halaman: 305. Jakarta: Erlangga)

2.2.6 Activated Sludge

Activated sludge (lumpur aktif) banyak digunakan di dunia untuk mengolah air limbah domestik maupun industri, ketika dibutuhkan kualitas efluen yang tinggi namun lahan yang tersedia terbatas. Akan tetapi, activated sludge memiliki sistem yang lebih termekanisasi daripada sistem lainnya, sehingga akan memerlukan konsumsi energi yang lebih tinggi. Secara umum lumpur aktif sebenarnya terbagi menjadi 2 unit yaitu reaktor dan clarifier. Disertai adanya sirkulasi lumpur, sehingga terjadi regenerasi bakteri dan proses bisa berlangsung selalu disertai oleh bakteri (Sperling, 2007).



Gambar 2.7 Skema lumpur aktif

Activated sludge memiliki beberapa kriteria perencanaan yakni:

Usia lumpur (θ_c) = 4 sampai 10 hari

Waktu tinggal (t) = 6 sampai 8 jam

Rasio F/M = 0,3 – 0,8 kg.BOD5/kg.VSS.hari

Serta beberapa perhitungan inti dalam menentukan dimensi reaktor activated sludge, yakni:

$$X_v = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c} \times \frac{\theta_c}{t}$$

Dimana

X_v = konsentrasi VSS (mg/L)

θ_c = usia lumpur (hari)

Y = koefisien yield (g X_v /gBOD5)

K_d = koefisien respirasi (/hari)

F_b = fraksi MLVSS biodegradable (X_b/X_v)

Dengan nilai Y berkisar 0,5 – 0,7 g X_v /gBOD5, sedangkan K_d = 0,06-0,1 gVSS/gVSS.hari .

Sedangkan untuk nilai f_b bisa dihitung dengan formula berikut

$$F_b = \frac{f_b'}{1 + (1 - f_b') \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

Dimana,

F_b = Fraksi biodegradable VSS, secara keseluruhan sistem (X_b/X_v)

F_b' = Fraksi biodegradable VSS, secara spontan setelah pembentukan umumnya bernilai 0,8.

Sedangkan untuk menghitung volume reaktor dapat digunakan formula berikut:

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot S_r}{x_v (1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c)}$$

V = volume (m^3)

X_v = konsentrasi VSS (mg/L)

Θ_c = usia lumpur (hari)

Y = koefisien yield (g X_v /gBOD₅)

K_d = koefisien respirasi (/hari)

F_b = fraksi MLVSS biodegradable (X_b/X_v)

S_r = jumlah BOD yang harus diremove (kgBOD/hari)

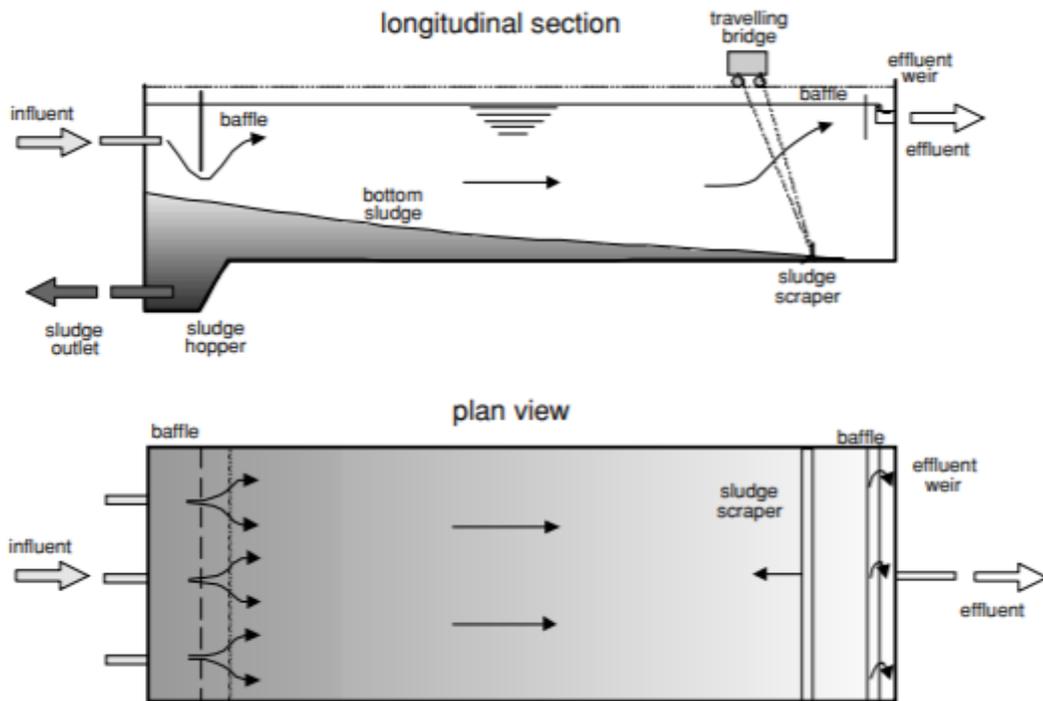
Tabel 2.3 nilai rasio padatan tergantung pada nilai Y , K_d , serta ada tidaknya pengendapan

Item	Ratio and unit	SS in the influent	Primary settling	Coefficients		Sludge age (day)					
				Y (g/g)	K_d (d^{-1})	2	6	10	14		
Production of solids	SS/S_r (kgSS/kgBOD ₅ rem)	No	No	0.5	0.09	0.50	0.42	0.37	0.33		
				0.6	0.08	0.60	0.51	0.45	0.41		
				0.7	0.07	0.71	0.61	0.55	0.50		
			Yes	Yes	0.5	0.09	0.83	0.75	0.70	0.67	
					0.6	0.08	0.96	0.87	0.81	0.78	
					0.7	0.07	1.04	0.95	0.88	0.84	
		Yes	No	0.5	0.09	1.08	1.00	0.95	0.92		
				0.6	0.08	1.23	1.14	1.09	1.05		
				0.7	0.07	1.29	1.20	1.13	1.08		
		VSS/SS ratio in reactor	VSS/SS (g/g)	No	No	0.5–0.7	0.07–0.09	0.89	0.87	0.85	0.84
				Yes	Yes	0.5–0.7	0.07–0.09	0.79	0.76	0.75	0.73
				Yes	No	0.5–0.7	0.07–0.09	0.75	0.73	0.71	0.70
Carbonaceous oxygen demand	O_2/S_r (kgO ₂ /kgBOD ₅ rem)	–	–	0.5	0.09	0.84	0.95	1.02	1.07		
		–	–	0.6	0.08	0.70	0.83	0.91	0.97		
		–	–	0.7	0.07	0.57	0.70	0.80	0.86		
Volume of the reactor	$X_v \cdot V/S_r$ [kgVSS/(kgBOD ₅ /d)]	–	–	0.5	0.09	0.88	2.16	3.11	3.88		
		–	–	0.6	0.08	1.07	2.67	3.87	4.85		
		–	–	0.7	0.07	1.26	3.21	4.69	5.92		

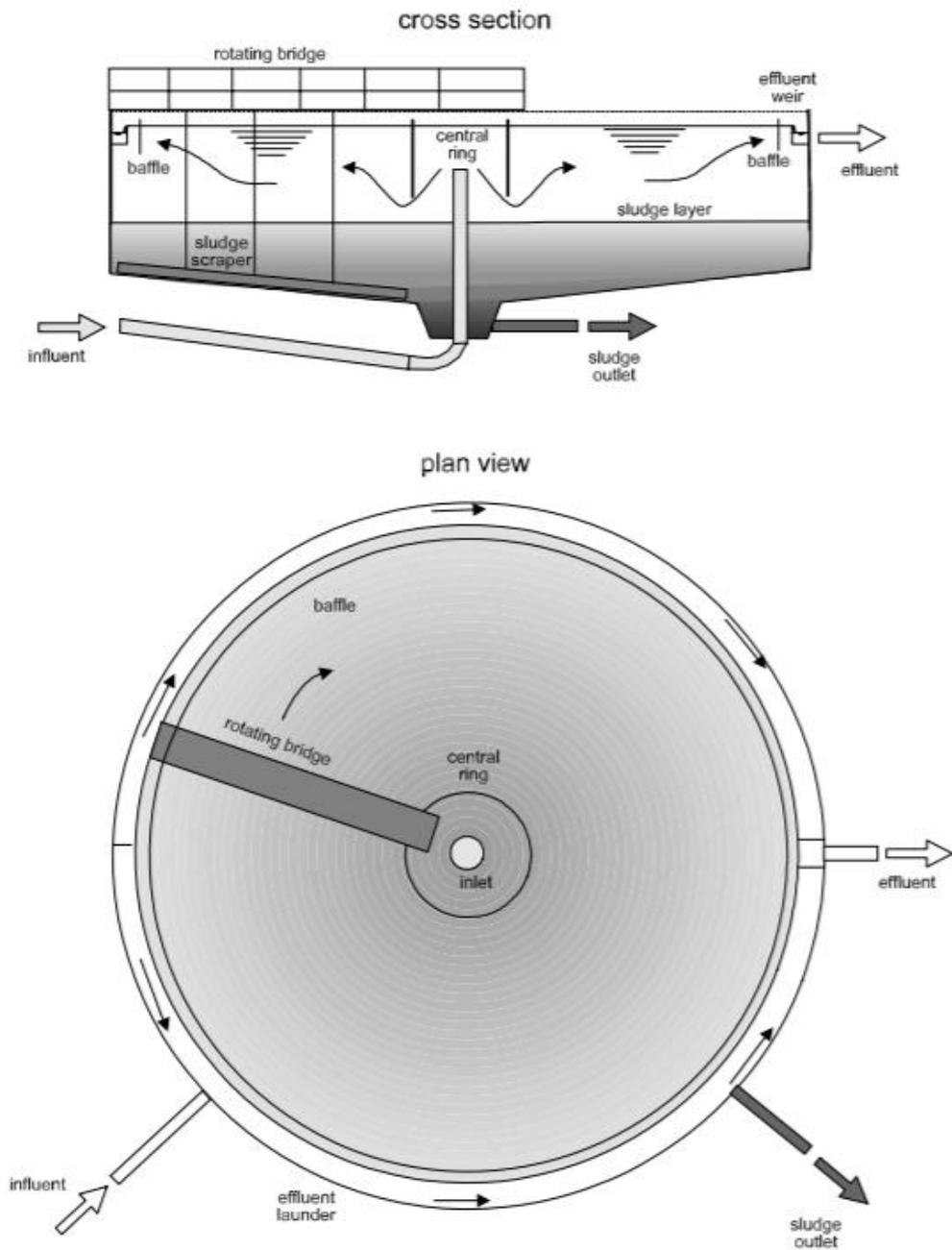
2.2.7 Clarifier

Unit pengendap yang melengkapi proses activated sludge disebut sebagai clarifier. Bentuk bak clarifier yang paling umum digunakan adalah persegi dan lingkaran. Kedua bentuk tersebut memerlukan pengaduk untuk mengentalkan lumpur. Bentuk lingkaran lebih cocok untuk aliran kontinyu dalam menghilangkan

lumpur. Sedangkan bentuk persegi lebih ekonomis karena menghemat lahan, dimana bentuk lingkaran meninggalkan celah pada lahan yang berukuran sama (Sperling, 2007).



Gambar 2.8 Clarifier berbentuk persegi



Gambar 2.9 clarifier berbentuk lingkaran

Terdapat 2 perhitungan yang penting dalam menentukan luas area clarifier yaitu hydraulic loading rate dan solid loading rate.

Hydraulic loading rate adalah beban debit pada luas clarifier, sehingga

$$\text{HLR} = Q/A$$

HLR = Hydraulic loading rate ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)

Q = debit (m^3/jam)

A = luas (m^2)

Sedangkan solid loading rate yaitu rasio beban solid dibandingkan dengan luasan clarifier, sehingga

$$\text{SLR} = (Q+Q_r) \cdot X/A$$

SLR = Solid loading rate ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{jam}$)

Q = debit (m^3/jam)

Q_r = debit resirkulasi (m^3/jam)

X = konsentrasi SS (kg/m^3)

A = luas (m^2) (Sperling, 2007)

Tabel 2.4 nilai koefisien v_o , K, m dan n berdasarkan tingkat pengendapan yang diinginkan

Settleability	Settling velocity (m/hour) $v = v_o \cdot e^{-K \cdot C}$		Limiting flux ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hour}$) $G_L = m \cdot (Q_r/A)^n$	
	v_o (m/hour)	K (m^3/kg)	m	n
<i>Very good</i>	10.0	0.27	14.79	0.64
<i>Good</i>	9.0	0.35	11.77	0.70
<i>Fair</i>	8.6	0.50	8.41	0.72
<i>Poor</i>	6.2	0.67	6.26	0.69
<i>Very poor</i>	5.6	0.73	5.37	0.69

2.2.8 Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses pembubuhan bahan desinfeksi yang bertujuan membunuh mikroorganisme patogen (Reynold, 1985). Ada 3 macam desinfeksi, yaitu :

- a. Kimia, seperti : Kaporit, ozon, KmnO_4 , dan gas klorin

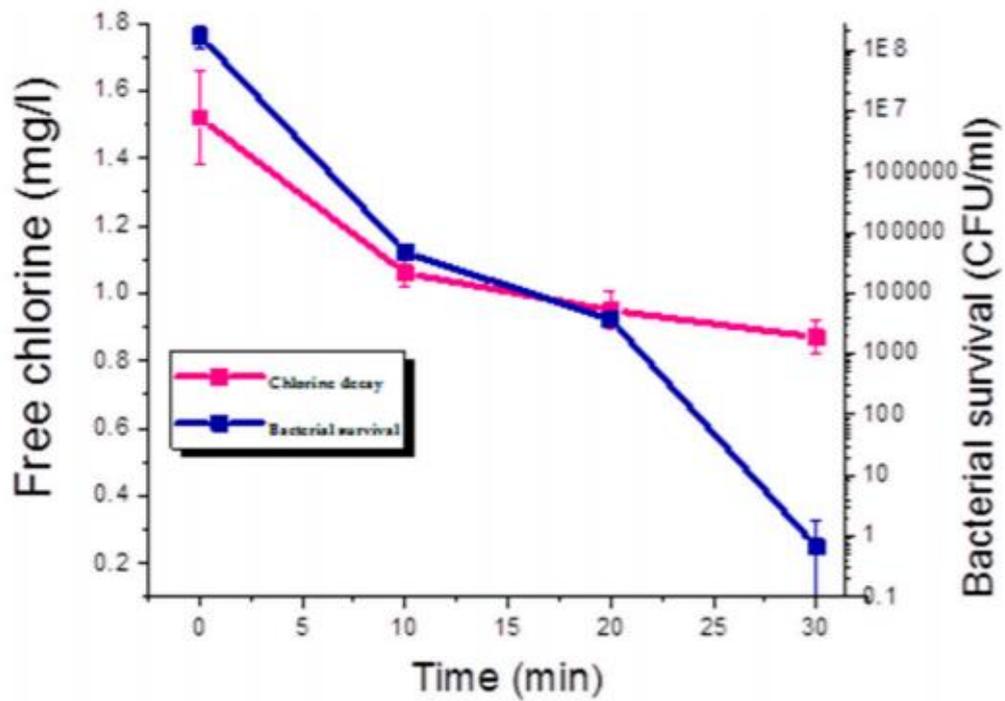
b. Fisik, seperti dengan cara pendidihan, misalnya pada pabrik pengolahan makanan

c. Mikrobiologis : dengan menggunakan media dengan bakteri di dalamnya
Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas proses desinfeksi antara lain, yaitu :

- a. pH
- b. Kandungan zat tersuspensi
- c. Konsentrasi dan jenis desinfektan
- d. Waktu Kontak mikroorganisme dengan desinfektan.

Metode yang dapat digunakan untuk menentukan dosis optimum pada proses desinfektan yaitu dengan menggunakan titik balik khlorinasi, yaitu metode dimana sisa khlor akan dihubungkan dengan nitrogen ammonium yang menghasilkan khloramin. Dosis khlorin yang akan digunakan tergantung pada adanya substansi senyawa organik dan anorganik. Jika dosis khlorin yang digunakan ditambah, hal ini akan berbanding lurus dengan meningkatnya sisa khlor yang terdapat pada air hasil produksi. Ini akan terus berlanjut sampai sisa khlor mulai menurun pada suatu titik, yang menunjukkan oksidasi dari senyawa chloramines dan senyawa organik lainnya.

Kriteria Perencanaan



Gambar 2.10 grafik kadar klorin terhadap coliform selama 30 menit paparan pada air limbah domestik (Owoseni, 2017)

Dosis = 1,5 mg/l

Waktu tinggal = 30 menit

Kaporit di pasaran = 70%

Rumus Perhitungan

Volume Tangki = $Q \times T_d$ H total = H air + (20% x H air)

$P = G^2 \times v \times V$

2.2.9 Pengolahan lumpur

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 bertanggung jawab 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 :

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

Salah satu bangunan pengolahan lumpur adalah sludge drying bed. Sludge drying bed berfungsi untuk menampung lumpur pengolahan baik dari proses kimia (daf) maupun proses biologi, dan memisahkan lumpur yang bercampur dengan air dengan cara proses penguapan menggunakan energi penyinaran matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan drying bed. Lumpur merupakan hasil akhir dari setiap instalasi pengolahan air limbah. Pada instalasi pengolahan air limbah yang menggunakan sistem lumpur aktif yang dihasilkan dalam bak sedimentasi sebagai recycle dan sebagian lagi dipompakan ke bak pengering lumpur (sludge drying bed) lumpur yang ditumpahkan ke bak pengering lumpur biasanya mengandung kadar solid 10 % dan air 90 %. Air yang meresap melewati lapisan penyaring, masuk ke pipa unser drain dan sebagian lagi menguap ke udara.

Waktu pengeringan lumpur biasanya 3-4 minggu dengan ketebalan lapisan lumpur dalam bak pengering antara 15-25 cm. Semakin tebal lapisan lumpur, waktu pengeringan semakin lama apalagi ke dalam bak pengering lumpur yang sudah terisi lumpur masih dimasukkan lagi lumpur yang baru. Keadaan cuaca juga sangat mempengaruhi lamanya waktu pengeringan lumpur. Kriteria Desain dari Sludge Drying Bed ini antara lain sebagai berikut :

1. Waktu pengeringan : 10 – 15 hari
2. Tebal sludge cake : 20 – 30 cm
3. Tebal pasir : 30 cm
4. Berat air dalam cake (Pi) : 20 – 60 %
5. Kadar solid : 60 %
6. Kadar Air : 40 %
7. Tebal sludge cake : 200 – 300 mm (Sumber : Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse, Metcalf & Eddy 4th edition, hal 1570 -1573)

2.3 Persen Removal

Tabel 2.5 Persen Removal Unit Pengolah

Unit Pengolah	Parameter	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Bak Pengendap Primer	TSS	60-80%	(Kone & Peter, 2014)
Bak ekualisasi	TSS	23-47%	(Reynold,1995)
	BOD	10-20%	
Grease Trap	Minyak & lemak	≤70%	(Morel & Diener, 2006)
	BOD	≤20%	
	TSS	≤20%	
Anaerobic Filter	BOD	68 – 79 %	(Chernicaró, 2007)
	COD	68 – 79 %	
Activated Sludge	BOD	85-95%	<i>(BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SERIES Activated Sludge and Aerobic Biofilm, 2018)</i>
	COD	85-90%	
	TSS	85-95%	
	Ammonia	85-95%	
Desinfeksi	Coliform	90-99%	(Owoseni et al., 2017)

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. 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 berhubungan dengan 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.