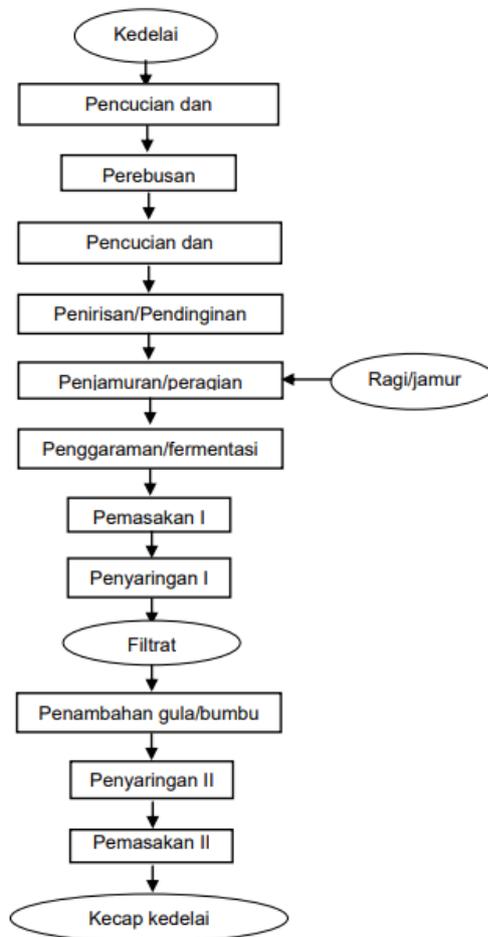


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Kecap

Menurut Rame & Novarina Irnaning Handayani (2019), jumlah air limbah dari proses industri kecap untuk menghasilkan produk kecap 1 ton adalah sebesar 10 m³ air limbah. Dalam satu tahun industri dengan produksi kecap 1 ton akan menyumbangkan air limbah sampai dengan 3.650 m³/tahun. (Rina et al., 2017).



Gambar 2. 1 Proses Pengolahan Industri Kecap

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Kecap

Dalam Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013, air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair yang dibuang ke lingkungan yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Mutu air limbah adalah kondisi kualitas air limbah yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industry kecap yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah COD, BOD, TSS, unsur N dan P, dan warna air limbah kecap

2.2.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan agar limbah organik yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah (Harahap et al., 2020). Jika kandungan senyawa organik dan anorganik cukup besar, maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan-ikan dan hewan air lainnya yang membutuhkan oksigen tidak memungkinkan hidup. Nilai COD selalu lebih tinggi dari pada 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 (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk effluent adalah sebesar 300 mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100 mg/L.

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah optimal untuk pengolahan biologis adalah

berkisar dari 0,1 sampai 0,8. Rasio BOD/COD optimal yang didapatkan pada proses Aerob berada pada rasio 0,1 proses Fakultatif pada rasio 0,2 dan proses Anaerob yaitu rasio 0,2. Semua rasio sebenarnya dapat dipakai tetapi apabila dilihat dari efisiensi yang paling baik adalah proses aerob dengan rasio BOD/COD awal 0,1 sehingga dikatakan rasio yang paling optimal (Putri et al., 2012).

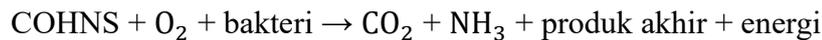
2.2.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroba dalam menguraikan zat organik secara biologis (biological oxidation) di dalam air limbah secara dekomposisi aerobik. Pengukuran BOD digunakan untuk mendapatkan besaran karbon organik yang dapat diuraikan secara biologis (Takashi Asano, 2007). Dalam hal ini, BOD diukur dengan menggunakan pendekatan periode 5 (lima) hari atau disebut juga dengan BOD₅. Menurut Perry (1998), waktu 5 (lima) hari merepresentasikan hanya sebagian dari total BOD yang diperkirakan 70% material organik dapat terurai selama durasi 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Pada air limbah domestik dengan temperatur 20°C, materi organik dapat terurai seluruhnya (100% BOD) pada waktu setelah 20 hari. Namun, dalam kondisi tertentu, air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen organik, ammonia, dan nitrit yang berpotensi membutuhkan oksigen untuk teroksidasi menjadi nitrat. Reaksi ini dapat terjadi pada hari ke-6. Oleh karena itu, BOD₅ dinilai lebih representatif untuk menggambarkan fenomena oksidasi materi organik di dalam air limbah domestik. BOD₅ juga telah menjadi metode yang disetujui dan diterapkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) dalam pemantauan kualitas air limbah domestik.

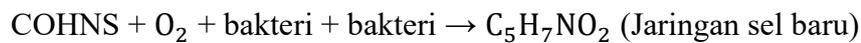
Kandungan BOD yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 adalah sebesar 150 mg/L. Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi 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 mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

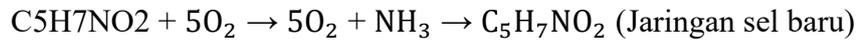
- Oksidasi



- Sintesis



- Respirasi endogen



2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sukar mengendap, melayang-layang, dan tidak larut di dalam air. Padatan TSS memiliki sifat sukar mengendap akibat muatan elektrostatis dan gerak brown sehingga stabil di dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk effluent adalah sebesar 100 mg/L.

Padatan tersuspensi yang terdapat pada parameter TSS 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 sulfat 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 (Azwardari, 2018)

2.2.4 Unsur Nitrogen

Menurut Effendi (2003), Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi (Effendi, 2003). Pada limbah yang belum diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik yaitu mendapatkan energinya melalui proses oksidasi dari ion ammonium (Effendi, 2003).

Adanya nitrat (NO_3^-) dalam air berkaitan erat dengan siklus nitrogen dalam alam. Dalam siklus tersebut dapat diketahui bahwa nitrat dapat terjadi baik dari N_2 atmosfer maupun dari pupuk – pupuk (fertilizer) yang digunakan dan dari oksidasi NO oleh bakteri dari kelompok nitrobacter. Nitrat yang terbentuk dari proses – proses tersebut merupakan pupuk dari tanaman – tanaman. Nitrat yang kelebihan dari yang dibutuhkan oleh kehidupan tanaman terbawa oleh air yang merembes melalui tanah, sebab tanah tidak mempunyai kemampuan untuk menahannya. Ini mengakibatkan terdapatnya konsentrasi nitrat yang relatif tinggi pada air tanah. Kadar Nitrat secara alamiah biasanya agak rendah, namun kadar nitrat dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Kadar nitrat tidak boleh melebihi 10 mg/L.

Proses kombinasi aerob-anaerob biasanya digunakan untuk menyisihkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Untuk penyisihan nitrogen, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amonia diubah menjadi ion amonium dan nitrat ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik (anoxic) terjadi proses denitrifikasi, yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3^- - \text{N}_2$). Kombinasi proses aerob-anaerob juga dapat menghilangkan fosfor maupun BOD/COD secara bersamaan dengan baik. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diambil oleh bakteri/mikroorganisme dan disintesis menjadi polifosfat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa BOD/COD. Sementara pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme keluar akibat hidrolisis senyawa fosfor, sedangkan energi yang dihasilkan yang menyerap BOD (senyawa organik) yang ada dalam air limbah.

2.2.5 Fosfat

Kandungan fosfat penting untuk dianalisis dan dihilangkan pada air limbah industri dan domestik karena senyawa fosfat menimbulkan pencemaran dan fenomena berupa eutrofikasi pada badan air. Senyawa fosfor juga ditemukan sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat maupun organik fosfat. Dalam perairan, kandungan fosfat mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti plankton (termasuk fitoplankton dan zooplankton). Keberadaan mikroorganisme seperti plankton mempengaruhi kualitas air permukaan. Seperti contoh alga dan cyanobacteria yang memerlukan kandungan fosfat dan nitrogen untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam perairan dan mampu menyebabkan algae bloom akibat ketidakstabilan parameter nitrat dan fosfat yang ada di dalam air (Listantia, 2020).

Kandungan fosfat pada air limbah ditemukan pada beberapa tempat. Fosfat anorganik dihasilkan oleh limbah manusia sebagai hasil proses metabolisme senyawa protein, lemak di dalam tubuh. Senyawa polifosfat ditemukan pada limbah industri deterjen maupun pencucian. Senyawa ortofosfat ditemukan pada pupuk tanaman, yang sering digunakan pada daerah pertanian. Senyawa polifosfat dapat dihidrolisis oleh bakteri menjadi senyawa ortofosfat. Jumlah kandungan polifosfat

dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat (Listantia, 2020).

Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada sungai, danau maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrisi makro esensial pertumbuhan biologis. Penurunan kadar fosfat dalam limbah cair dapat dilakukan secara kimia atau biologi. Teknik secara kimia dianggap kurang efektif karena meningkatkan jumlah lumpur yang dihasilkan dan membutuhkan biaya tambahan serta dikhawatirkan menyebabkan kontaminasi logam berat dalam sistem pembuangan limbah cair dan meningkatkan konsentrasi garam dalam effluent. Alternatif lain adalah dengan cara biologi, yaitu dengan memanfaatkan aktivitas mikroba yang mampu menurunkan kadar fosfat. Penurunan kadar fosfat dapat dilakukan melalui mekanisme pengolahan biologis yang melibatkan organisme pengakumulasi polifosfat (*polyphosphate accumulating organisms/ PAO*). PAO akan mengkonsumsi fosfor untuk pembentukan komponen selulernya dan mengakumulasi sejumlah besar polifosfat dalam selnya (Setyaningrum et al., 2019).

2.2.6 Warna

Warna merupakan spektrum tertentu yang terdapat di dalam suatu cahaya sempurna berwarna putih akibat suatu bahan terlarut atau tersuspensi di dalam air. Identitas suatu warna ditentukan oleh panjang gelombang cahaya tersebut. Sebagai contoh warna biru yang memiliki panjang gelombang 460 nm. Radiasi yang tersebar secara merata akan tampak sebagai cahaya putih dan yang akan terurai dalam warna-warna spectrum bias dengan adanya penyaringan oleh prisma yang dipersepsikan sebagai sinar foton (Koko, 2011). Bila kondisi air warnanya berubah maka hal tersebut merupakan salah satu indikasi bahwa air telah tercemar. Pada air limbah, warna biasanya disebabkan oleh adanya materi dissolved, suspended, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Warna air limbah menunjukkan kualitasnya, air limbah yang baru akan berwarna abu-abu dan air limbah yang sudah basi atau busuk akan berwarna gelap. Warna

tertentu dapat menunjukkan adanya logam berat yang terkandung dalam air buangan.

Warna pada air dapat dibedakan atas dua hal, yaitu warna sejati (*true color*) dan lainnya disebut warna semu (*apparent color*). *True Water Color* dihasilkan dari absorbansi cahaya hanya oleh bahan organik dan mineral terlarut. Warna sejati adalah warna dari air yang sebenarnya tanpa adanya kekeruhan, yang disebabkan adanya senyawa yang mudah larut dan beberapa ion logam. Sedangkan warna semu adalah hasil dari kombinasi efek penyerapan cahaya oleh materi terlarut dan partikulat, yakni ditimbulkan oleh zat terlarut dan bahan tersuspensi. Warna semu adalah warna yang sebenarnya dilihat seseorang di badan air (Octavianka & Purnomo, 2023).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri kecap ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah COD, BOD, TSS, Total Nitrogen, Total Fosfat, dan warna. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah:

- a. Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)
- b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)
- c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)
- d. Pengolahan Tertiari (*Tertiary Treatment*)
- e. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*).

2.3.1 Pengolahan Awal (*Pre-Treatment*)

Pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) adalah tahapan awal dalam proses pengolahan air limbah yang digunakan untuk menghilangkan pencemar tertentu maupun untuk menstabilkan air limbah sehingga mampu diterima pada unit pengolahan selanjutnya. Pada pengolahan pendahuluan, unit pengolahan air limbah secara umum diantaranya saluran pembawa dan *screening/shredding*, grit removal, *flow qualization*, pra-sedimentasi, dan *quality equalization*

a. Saluran Pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (slope) (Prapassel, W., 2021).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (open channel flow) dan saluran tertutup (pipe flow). 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. 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 sewage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka (Yendri, O., 2023).

Adapun kriteria perencanaan yang disesuaikan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3 m/s – 2,4 m/s
2. Kemiringan (Slope) maksimal = 1,10 m/m – 3 m/m
3. Freeboard saluran = 5% - 30%
4. Dimensi saluran direncanakan (W_s) = B = 2H
5. Kekasaran saluran (n) = 0,011 – 0,020 (saluran terbuka bahan beton)

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2. 1 kriteria perencanaan saluran pembawa

Bahan Beton	a Manning
Kayu yang diketam (serut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Boten yang tidak dihaluskan	0,014
Besi usang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu – batu	0,015
Tanah	0,025
Tanah dengan batu	0,035
Kerikil	0,029

(Sumber: Spellman, F. R. (2013). *Water & wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability*. Halaman 285)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/detik)}}{V \text{ (m/detik)}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = setik limbah (m³/detik)

V = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

- Diameter Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

D = diameter pipa (m)

- Cek Kecepatan menggunakan Rumus Manning

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

n = koefisien manning

R = jari – jari hidraulik

S = *slope* (kemiringan dasar saluran)

- Jari – Jari Hidrolis

$$R = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \times D}$$

Keterangan:

D = diameter pipa (m)

- Cek Waktu Tinggal Maksimum Saluran Pembawa (Td)

$$T_d = \frac{Q \text{ total saluran}}{Q}$$

Keterangan:

Q = debit

Td = waktu detensi

- *Slope* Saluran

$$S = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Keterangan:

S = slope/kemiringan saluran (m)

Q = debit air limbah

R = jari-jari hidrolis

n = koef. Manning

- *Headloss* Saluran Pembawa

$$H_f = \textit{Slope} \times L \text{ saluran}$$

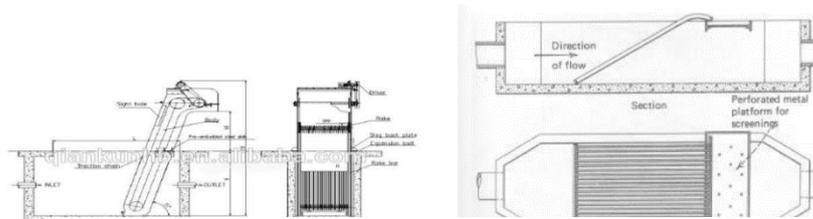
Keterangan:

Hf = headloss saluran (m)
L = panjang saluran (m)

b. Bar Screen

Screening atau biasa disebut dengan barscreen digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran $> 0,5 - 1,0$ cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu merusak peralatan unit pengolahan berikutnya, mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan, dan mencemari saluran air (Reynolds & Richards, 1996).

Adapun jenis dari barscreen adalah finescreen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis barscreen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).



Gambar 2. 2 Unit bar screen manual dan mekanik

Umumnya unit barscreen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal. Tebal batang biasanya $5 - 15$ mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50 mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. Barscreen dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain screen secara manual maupun mekanis coarsescreen maupun finescreen adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 kriteria perencanaan untuk mendesain screen

Parameter	US Custom Unit		Satuan Internasional	
	Metode		Metode	
	Manual	Otomatis	Manual	Otomatis
Ukuran Batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak Antar Batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75
Parameter lain				
kemiringan terhadap vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Headloss (max)	6 in	5 – 24 in	150 mm	150 – 600 mm

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 316)

Tabel 2. 3 Jenis Screen dan Persen Removal

Jenis Screen	Luas Permukaan		Persen Removal	
	In	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 and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 323)

Tabel 2. 4 Jenis Screen dan Penggunaan

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Tipe 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
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
	Halus	6 - 35 μ m		Stainless-steel dan kainpolyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating	Sedang	0,06 - 0,17	1,6 - 4	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
Tangensial	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 323)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Tinggi *Bar Screen*

$$\text{Tinggi Bar Screen} = H_{\text{saluran}} + (\text{Fb} \times H_{\text{saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi (m)

Fb = freeboard

- Jumlah Batang Kiri (n)

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

Keterangan:

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar bar/kisi (m)

- Lebar Bukaannya Screen (W_c)

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

Keterangan:

W_c = lebar bukaannya screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = (\gamma) / (\sin \alpha)$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = panjang kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \times \cos \alpha$$

Keterangan:

A = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = (Q) / (wc \times h)$$

Keterangan:

Q = debit inlet air limbah

h = tinggi muka air

wc = lebar bukaan screen

- Headloss pada Bar Screen

- Saat *non-clogging*

$$H_f = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C merupakan koefisien pada saat tidak clogging yaitu 0,7

- Saat clogging

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

C_c merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 320 – 321)

c. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak prasedimentasi maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak prasedimentasi, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Takashi Asano & Professor, 2007).

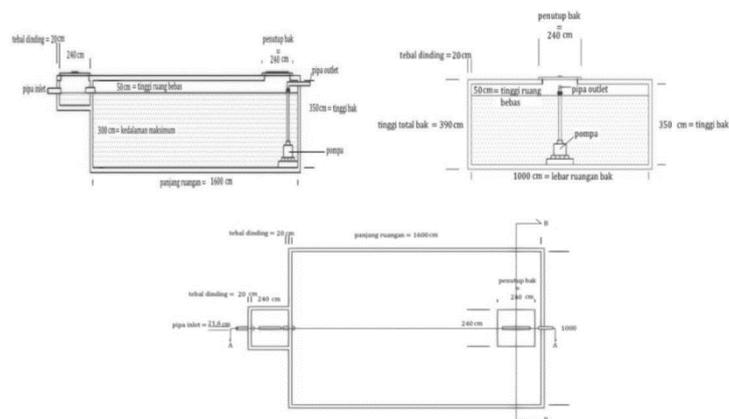
Bak prasedimentasi secara sederhana dapat diartikan sebagai bak yang digunakan untuk menstabilkan aliran air guna menghasilkan parameter pencemar yang konstan setiap waktu atau dapat juga dibidang relatif mendekati konstan sehingga dapat digunakan pada berbagai macam situasi, bergantung pada sistem pengumpulan yang digunakan. Manfaat utama dari aplikasi bak prasedimentasi antara lain:

1. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena shock loading rate mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan.
2. Kualitas effluent dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan.
3. Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan).
4. Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Namun unit bak prasedimentasi juga memiliki kekurangan diantaranya adalah:

1. Memerlukan area/lokasi yang cukup luas.
2. Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal
3. Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat

Unit Bak Penampung



Gambar 2. 3 Unit Bak Penampung

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung antara lain:

- Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Kriteria desain dan perencanaan bak penampung

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman air minimal (h_{min})	1,5 – 2	Meter	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Laju pemompaan udara (Q_{udara})	0,01 – 0,015	m ³ /m ³ -menit	
Kemiringan dasar tangki (<i>Slope</i>)	40 – 100	Mm/m diameter	(Qasim & Zhy, 2017)
Waktu tinggal	1 – 2	Jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Ambang batas / <i>freeboard</i> (h_{fb})	5 – 30	%	

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak prasedimentasi antara lain:

- Waktu Tinggal (td)

$$td = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak prasedimentasi (m³)

Q = debit air yang dipompa

td = waktu tinggal ($m^3/detik$)

- Kecepatan Aliran (v)

$$v = A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m^2)

H = kedalaman air (m)

v = kecepatan aliran (m^3)

- Dimensi Bak Prasedimentasi

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan:

P = panjang bak (m)

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

V = volume bak (m^3)

- Kedalaman Total (h_{total})

$$H_{total} = H + (fb \times H) + H_{ruang\ lumpur}$$

Keterangan:

H = ketinggian bak (m)

fb = freeboard

- Jari – Jari Hidrolis

$$R = \frac{w \times H}{w \times 2H}$$

Keterangan:

W = lebar bak (m)

H = tinggi bak (m)

R = jari-jari (m)

- Pipa *Inlet*

$$A = 1/4 \times \pi \times d^2$$

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- Pipa *Outlet*

$$A = 1/4 \times \pi \times d^2$$

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Outlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- Volume Partikel Diskrit

$$V = L \times W \times H$$

- Dimensi Zona Lumpur

- Luas Permukaan Atas Zona Lumpur

$$A = L1 \times W1$$

- Luas Permukaan Dasar Zona Lumpur

$$A' = L2 \times W2$$

- Tinggi Limas Terpancung

$$V \text{ zona lumpur} = \frac{1}{3} \times H \times (A + \sqrt{AA'} + A')$$

Keterangan:

A = luas zona

L = Panjang zona

W = lebar zona

H = tinggi zona

- Luas Penampang *Outlet* Pipa Partikel Diskrit

$$A = 1/4 \times \pi \times d^2$$

- Debit Outlet Pipa Partikel Diskrit

$$Q \text{ Lumpur} = V \times A$$

- Waktu Pengurasan Lumpur

$$Q_p = \frac{(\text{Volume lumpur 1 kali pengurasan})}{(Q \text{ lumpur})}$$

- *Headloss*

- *Headloss* mayor

$$H_f \text{ mayor} = \frac{10,7 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times L$$

- *Headloss* minor

$$H_f \text{ minor} = k_1 \times \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \times \frac{v^2}{2g})$$

- *Headloss* total

$$H_a = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

Sedangkan untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya shock loading rate. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2. 6 Karakteristik pompa yang digunakan

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Air limbah sebelum diolah ▪ Penggunaan lumpur kedua ▪ Pembuangan effluent
	Peripheral	limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat - zat kimia, aliran lambat untuk air dan air buangan

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Posite Displacement	Screw	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasir, lumpur pengolahan 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)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah dengan skala kecil

(Sumber: Qasim, Syed R. Zhu Guang, Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes, Halaman 6-43)

2.3.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment)

Primary treatment dalam pengolahan air buangan adalah tahap pertama dalam sistem pengolahan limbah cair, dimana beberapa proses fisika dan kimia dikerjakan. Tujuan dari primary treatment adalah untuk memisahkan zat padat, baik organik maupun anorganik, serta minyak dan lemak dari zat cair dengan menggunakan proses fisika dan kimia. Hasilnya, air tampak jernih, memiliki pH netral, dan tidak mengandung logam berat. Limbah pengolahan air yang dievaluasi dalam pengolahan primer air limbah domestik efektif dalam peningkatan klarifikasi dibandingkan dengan sedimentasi alami. Peningkatan klarifikasi yang dicapai dengan penambahan lumpur mentah Wastewater Treatment dan lumpur reaktif disebabkan oleh kontribusi aluminium dan besi dalam kedua lumpur, yang bertindak sebagai koagulan yang mendukung penggumpalan partikel dan penghapusan selanjutnya oleh sedimentasi. (Rachmawati, R., 2020).

2.3.3 Pengolahan Sekunder (Secondary Treatment)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan non settleable menjadi flok biologis atau biofilm; mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Takashi Asano & Professor, 2007).

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD antara 60-90% serta 40, 90 % TSS (Qasim & Zhu, 2017). Penghilangan partikulat dan BOD karbon terlarut dan stabilisasi materi organik yang ditemukan dalam air limbah dilakukan secara biologis dengan menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi atau mengubah materi organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa sebagai produk sampingan.

Biomassa memiliki berat jenis yang sedikit lebih besar dari air sehingga biomassa dapat dihilangkan dari air limbah yang diolah dengan pengendapan gravitasi. Penting untuk dicatat bahwa biomassa yang dihasilkan dari bahan organik akan dihapus secara periodik, pengolahan lengkap belum dicapai karena biomassa yang merupakan organik akan diukur sebagai BOD dalam efluen. Biomassa akan hilang pada sistem sedimentasi sekunder yaitu sedimentasi setelah pengolahan biologis terjadi.

Adapun kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih unit pengolahan sekunder dengan tepat, diantaranya adalah:

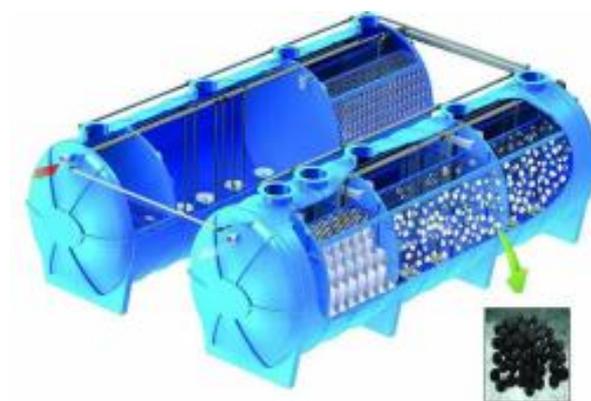
1. Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.

2. Aspek teknis, dari segi konstruksi menyangkut teknis pelaksanaan seperti ketersediaan tenaga ahli, kemudahan mendapatkan material konstruksi, instalasi bangunan, dan ruang yang digunakan. Segi operasi dan pemeliharaan menyangkut kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan instalasi air limbah.
3. Aspek ekonomis, menyangkut masalah pembiayaan (finansial) dalam hal konstruksi operasi, dan pemeliharaan IPAL.
4. Aspek lingkungan, menyangkut kemungkinan terjadinya gangguan yang dirasakan oleh penduduk akibat ketidakseimbangan faktor biologis dan dampak lain seperti bau dan pencemaran suara.

Adapun beberapa contoh unit pengolahan sekunder dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Biofilter Anaerobik – Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi. Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan ammonia. Pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik,



Gambar 2. 4 Skema Kerja dan Media Biofilter Aerobik Dalam Tangki

sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri maksimal (Said, 2018).

(sumber: cara-membuat-ipal.com)

Dalam pengolahan anaerobik-aerobik menggunakan biofilter atau trickling filter memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam dan kedap air. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain:

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
2. Diameter media. Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman. Suhu/temperature, suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas

permukaan media akan berkurang (Said., 2005). Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut:

Tabel 2. 7 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m^2/m^3)
1.	<i>Trickling filter</i>	100 - 200
2.	Modul <i>Honeycomb</i> (sarang tawon)	150 - 240
3.	Tipe Jaring	50
4.	RBC	80 - 150

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017, Halaman 292)

Menurut Reuter (2009), baik biofilter anaerobik dan aerobik memiliki kriteria desain sebagai berikut:

- Beban permukaan = 20 – 50 m^3/m^2 .hari
- HRT di bak pengendap / tangka septik = 2 jam
- HRT di anaerobik filter = 1,5 – 2 hari
- Penyisihan BOD = 70 – 90%
- Rasio SS/BOD = 0,35 – 0,45
- Luas spesifik media = 80 – 180 m^2/m^3
- Velocity upflow = < 2 m/jam

Menurut Nusa Idaman Said (2005), kriteria desain lain untuk media biofilter anaerob dan aerob adalah sebagai berikut:

- Biofilter Anaerobik
 - Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
 - Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD/
 m^3 .hari
 - Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/ m^2 .hari
 - Tinggi *bed* media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- Media Biofilter Anaerobik

- Tipe = sarang tawon
- Material = PVC sheet
- Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
- Luas kontak spesifik = 150 – 226 m²/m³
- Diameter lubang = 3 cm × 3 cm
- Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
- Porositas rongga = 0,98
- Biofilter Aerobik
 - Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
 - Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD/
m³.hari
 - Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/ m².hari
 - Tinggi *bed* media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Media Biofilter Aerobik
 - Tipe = sarang tawon
 - Material = PVC sheet
 - Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
 - Luas kontak spesifik = 150 – 226 $\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$
 - Diameter lubang = 3 cm × 3 cm
 - Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
 - Porositas rongga = 0,98
- Blower Udara
 - Densitas udara = 1,2 kg/m³
 - Berat aliran udara (w) = 85 – 1700 m³/menit
 - Tekanan absolut outlet (P2) = 25 lb/in² = 1,7 atm
 - Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
 - Konstanta udara = 8,314 Kj/mol.K
 - K = 1,395
 - N = 0,28

- Efisiensi = 70 – 90%

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2017, Halaman 304 – 31(?))

Berikut merupakan tahapan dan rumus – rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis:

- **Perhitungan Biofilter Anaerobik**

- Beban BOD di Dalam Air Limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit limbah} \times \text{BOD inlet}$$

- Volume Media Yang Diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD air}}{\text{Beban BOD per volum media}}$$

- Volume Reaktor Yang Diperlukan (Rancangan Anaerob – Aerob)

$$V \text{ reaktor} = \frac{100}{60} \times V \text{ media diperlukan}$$

- Waktu Tingga di Dalam Reaktor (Td)

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{\text{debit air limbah}}$$

- Dimensi Reaktor

$$V \text{ reaktor} = P \times L \times T$$

Keterangan:

P = panjang

L = lebar

T = tinggi

- Dimensi Media

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

- BOD Loading Per Volume Media

$$\text{BOD} = \frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{volume media reaktor}}$$

- BOD Loading (jika media memiliki luas spesifik $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$)

$$\text{BOD} = \frac{\text{BOD Loading per volum media}}{\text{Luas spesifik media}}$$

- Produksi *Sludge*

$$V \text{ Lumpur} = \frac{\text{Beban COD} + \text{BOD} + \text{TSS lumpur} + \text{beban P lumpur}}{\text{konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Pipa *Outlet* Anaerobik

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

Keterangan:

Q = debit limbah

V = kecepatan aliran

- Diameter Pipa *Outlet*

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

- **Perhitungan Biofilter Aerobik**

- Beban BOD di Dalam Air Limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit limbah} \times \text{BOD inlet}$$

- Volume Media yang Diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD air}}{\text{Beban BOD per volum media}}$$

- Volume Reaktor yang Diperlukan (Rancangan Anaerob – Aerob)

$$V \text{ reaktor} = \frac{100}{60} \times V \text{ media diperlukan}$$

- Waktu Tinggal di Dalam Reaktor (Td)

$$T_d = \frac{\text{Volume reaktor}}{\text{debit air limbah}} \times 24 \text{ jam}$$

- Dimensi Reaktor

$$V \text{ reaktor} = P \times L \times T$$

- Perhitungan Ruang Aerasi dan Ruang Media

$$V \text{ ruang media} = P \times L \times T$$

- Total Volume Efektif Biofilter Aerobik

$$V \text{ total} = P \times L \times T$$

- Volume Total Media Biofilter Aerobik

$$V \text{ media} = P \times L \times T$$

- BOD Loading Per Volume Media

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{Volume total}}{\text{Volume media}}$$

- BOD Loading (jika media memiliki luas spesifik $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$)

$$\text{BOD} = \frac{\text{BOD Loading}}{150 \text{ m}^2/\text{m}^3}$$

- Kebutuhan Udara Untuk Menghilangkan N dan P

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{\text{kebutuhan udara teoretis}}{\text{berat udara} \times \text{jumlah oksigen}}$$

$$\text{Cek rasio vol udara/vol limbah} = \frac{\text{vol udara}}{\text{vol air limbah}}$$

- Produksi Sludge

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur}}{\text{konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

b. Bak Pengendap (Clarifier)

Sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan tersuspensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Sedimentasi berguna untuk memisahkan pasir, partikel yang besar, dalam kolam pengendapan utama, biological flok pada kolam pengendapan lumpur aktif, dan menghilangkan flok kimiawi ketika proses koagulasi senyawa kimia digunakan. Ini juga digunakan untuk menggumpalkan padatan yang ada di thickening. Di banyak kasus, tujuan utama adalah untuk menghasilkan effluent yang jernih, tetapi ini juga penting untuk menghasilkan lumpur dengan konsentrasi padatan yang dapat mempermudah penanganan dan pengolahan.

Sementara itu, clarifier adalah pemisahan liquid-solid akan efektif bila salah satu dari kedua zat yang akan dipisahkan berbeda densitasnya. Pemisahan liquid solid ini menggunakan bantuan gaya gravitasi atau sentrifugal. Penggunaan gaya gravitasi atau sentrifugal atau penyaringan sangat bergantung pada bentuk dan ukuran partikel. Teknik pemisahannya juga bergantung pada, konsentrasi solid, kecepatan umpan masuk, ukuran partikel solid, dan bentuk partikel solid. Salah satu teknologi yang umum digunakan pada proses pemisahan liquid-solid adalah dengan menggunakan metode klasifikasi dengan menggunakan alat yang bernama clarifier. Pada unit Clarifier terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada

Clarifier adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan piringan berlubang. Fungsi dari piringan berlubang yaitu untuk memecah aliran dalam menciptakan efek pengadukan. Pada proses pengadukan lambat, energi hidrolis yang dibutuhkan cukup kecil agar menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan terpisahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradien kecepatan.

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua



Gambar 2. 5 Unit clarifier

banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya. Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat scrapper 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. Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1–2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter).

Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).

Berikut merupakan tahapan serta rumus – rumus yang dibutuhkan ketika melakukan perhitungan unit clarifier:

- **Zona Settling Unit Clarifier**

- Qin pada Unit Clarifier

$$Q_{in} = m^3/\text{hari}$$

- Luas *Surface Area* (A)

$$A = \frac{Q_{in}}{OFR}$$

- Diameter (D)

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

Keterangan:

A = luas penampang

- Cek Luas *Surface Area*

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

- Kedalaman Bak (H)

$$H = \frac{Q_{in} \times Td}{A}$$

- Cek *overflow rate*

$$OFR = \frac{Q_{in}}{A}$$

Keterangan:

Q = debit air

A = luas penampang

- Volume Bak

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

- Cek Waktu Tinggal (Td)

$$T_d = \frac{Vol}{Q_{in}}$$

- Kecepatan Pengendapan Partikel (V_s)

$$V_s = \frac{H}{T_d}$$

- Diameter Partikel

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

- Cek Bilangan NRe untu V_s

$$N_{re} = \frac{\rho_s \times D_p \times v_s}{\mu}$$

- Kecepatan Horizontal di Bak (V_h)

$$V_h = \frac{Q_{in}}{\pi \times D \times H}$$

- Jari – Jari Hidrolis (R)

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

- Cek Bilangan Froude (NFr)

$$N_{Fr} = \frac{V_h}{\sqrt{g \times H}}$$

- Cek Bilangan Reynold (Nre)

$$N_{re} = \frac{V_h \times r}{\nu}$$

- Cek Kecepatan Penggerusan (v_{sc})

$$V_s > V_h$$

$$V_s = \frac{\sqrt{8 \times K \times (1,25 - 1) \times g \times d}}{f}$$

- **Zona Inlet Unit Clarifier**

- Diameter Inlet Well (D')

$$D' = 20\% \text{ Diameter Bak}$$

- Perhitungan Pipa Inlet

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

- Diameter Pipa Inlet

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

- Cek kecepatan Pipa Inlet

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

- **Zona Thickening Unit Clarifier**

- Total Massa Solid Dalam Bak Biofilter Anaerobik – Aerobik

$$\text{Massa solid total} = \text{MLVSS} \times \text{Volume lumpur biofilter}$$

- Total Massa Solid Bak Sedimentasi Akhir (Clarifier)

$$P = \% \text{ Biological yang tetap dalam biofilter aerobik}$$

- Kedalaman Zona Thickening

$$H = \frac{M \text{ solid total}}{X \times A}$$

- **Zona Sludge Unit Clarifier**

- Total Lumpur yang Berkumpul (T_L)

$$T_L = P \times \text{Waktu Pengurasan}$$

- Total Berat Lumpur Pada Bak (T_{LM})

$$T_{LM} = T_L + M. \text{ Solid total}$$

- Volume Lumpur Pada Bak (V_L)

$$V_L = \frac{T_{LM}}{\rho_s}$$

- Debit Lumpur (Q_L)

$$Q_L = \frac{V_L}{\text{Waktu Pengurasan}}$$

- Volume Air

$$\text{Vol Air} = 95\% \times V_L$$

- Berat Air

$$\text{Berat Air} = \text{Vol air} \times \text{Berat jenis air}$$

- Volume Solid

$$\text{Vol solid} = 5\% \times V_L$$

- Berat Solid

$$\text{Berat solid} = \text{vol solid} \times \text{berat jenis solid}$$

- Diameter Permukaan Atas

Direncanakan pengurasan dari clarifier berbentuk kerucut terpancung dengan asumsi diameter ruang lumpur sebagai berikut:

$$\text{Diameter permukaan atas} = m$$

- Jari – Jari Permukaan Atas (r)

$$\text{Jari – Jari Permukaan Atas (r)} = m$$

- Diameter Permukaan Bawah

$$\text{Diameter Permukaan Bawah} = m$$

- Jari – Jari Permukaan Bawah (r)

Volume ruang lumpur = volume kerucut terpancung

$$\text{Volume} = \frac{1}{3} \pi \times H \times (R^2 + r^2 + Rr)$$

- Kedalaman Total Sedimentasi (*Clarifier*)

$$H \text{ total} = H \text{ settling} + H \text{ Thickening} + H \text{ sludge}$$

$$H \text{ Total Bak} = H \text{ total} + \textit{freeboard}$$

$$H \text{ Total Bak} = H \text{ total} + (20\% \times H \text{ total})$$

- **Dimensi Pipa Penguras**

- Luas Penampang Pipa Lumpur *Outlet*

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

- Debit Pipa Lumpur *Outlet*

$$Q \text{ lumpur} = V \times A$$

- Waktu Penguras Lumpur *Outlet*

$$Q_p = \frac{\text{Volume lumpur 1 kali pengurasan}}{Q \text{ lumpur}}$$

- **Zona *Outlet Unit Clarifier***

- Panjang Keliling *Weir*

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

- Jumlah V Notch Setiap Pelimpahan (*Weir*)

$$n \text{ Notch} = \frac{\text{Panjang keliling}}{\text{jarak antar V notch}}$$

- Debit V Notch

$$Q \text{ v Notch} = \frac{Q}{\text{Jumlah antar V notch}}$$

- Tinggi Pelimpah Setelah Melalui V-Notch

$$Q \text{ v Notch} = \frac{8}{15} \times cd\sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{a}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

- Luas Permukaan Saluran Pelimpah

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

- Dimensi Kedalaman Saluran Pelimpah (H total)

$$A = B \times H, \text{ direncanakan } B = 2 \times H$$

$$A = 2 H \times H$$

- Dimensi Saluran Pelimpah (B)

$$B = 2 \times H$$

- **Pipa Outlet Unit Clarifier**

- Luas Penampang Pipa

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

- Diameter Pipa Outlet

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

- Cek Kecepatan Pipa Outlet

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

- Headloss Mayor (Hf Mayor)

$$Hf \text{ Mayor (Hf)} = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

- Headloss Minor (Hf Minor)

$$Hf \text{ Headloss Elbow } 90^\circ = n \times k \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$Hf \text{ Headloss Gate Valve} = n \times k \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

- *Headloss* Total (H_f Total)

$$H_f \text{ total} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

2.3.4 Pengolahan Lanjutan (Tertiary Treatment)

Pengolahan Lanjutan (Tertiary Treatment) adalah tahap pengolahan air limbah yang dilakukan setelah proses pengolahan sekunder untuk meningkatkan kualitas air. Pada tahap ini, air diolah untuk menghilangkan nutrien, logam berat, zat organik dan anorganik yang masih tersisa. Prosesnya melibatkan teknik seperti filtrasi, adsorpsi, penukar ion, ozonasi dan pengolahan ultraviolet. Hasilnya, air menjadi lebih bersih dan aman serta memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan.

a. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu di dalam fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang mempunyai sifat dapat menyerap (adsorbent). Sebagian besar zat pengadsorpsi atau adsorben merupakan bahan – bahan yang sangat porous dengan luas permukaan yang besar, sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung pada permukaan atau dinding – dinding pori atau pada bagian tertentu di dalam partikel adsorben (Said, 2017).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), penghilangan warna, penghilangan bau dan lainnya. Bahan adsorben yang banyak digunakan antara lain adalah karbon aktif (activated carbon), silika aktif (activated alumina), zeolit dan lainnya (Said, 2017).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), penghilangan warna, penghilangan bau dan lainnya. Bahan adsorben yang banyak digunakan antara lain

adalah karbon aktif (activated carbon), silika aktif (activated alumina), zeolit dan lainnya (Said, 2017).

Di dalam proses pengolahan air, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi, dan pengendapan. Polutan di dalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan biasa antara lain adalah bau, detergen, senyawa fenol, zat warna organik, amonia dan zat-zat organik lainnya.

Perencanaan fasilitas pengolahan air dengan karbon aktif sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang akan diolah serta jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Ada 2 (dua) tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air yaitu karbon aktif bubuk atau Powder Activated Carbon (PAC) dan karbon aktif butiran atau Granular Activated Carbon (GAC) yang mana keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam segi proses maupun segi ekonominya (Said, 2017).

Pada umumnya pengolahan air dengan karbon aktif bubuk dipilih atau dilakukan dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka pendek. Sedangkan untuk proses yang kontinu atau untuk jangka waktu yang lama penggunaan karbon aktif butiran (granular) mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif bubuk. Namun demikian, pada kondisi tertentu kombinasi antara keduanya sering juga dilakukan (Said, 2017).

Sifat dan Jenis Karbon Aktif:

Karbon aktif merupakan zat karbon yang berwarna hitam dan mempunyai porositas yang tinggi. Diameter partikel molekul karbon aktif antara 10-105 [Å] dan luas permukaan spesifiknya antara 500-1500 m² per gram, mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap zat-zat misalnya detergen, senyawa fenol, warna organik, gas H₂S, metana dan zat-zat organik lainnya dalam bentuk gas maupun cairan (Maron, 1965 dalam Said, 2017).

Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon (C), misalnya, batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya,

dengan cara memanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran partikel atau luas permukaan spesifiknya dan juga cara pengaktifannya. Dilihat dari bentuk ukuran partikelnya dapat digabungkan dalam dua jenis yaitu karbon aktif bubuk (Powder Activated Carbon, disingkat PAC) dan karbon aktif butiran (Granulas Activated Carbon, disingkat GAC) (Said, 2017).

- Karbon Aktif Bubuk (Powder Activated Carbon)

Karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus yaitu sekitar 50-75 μ (mikron). Karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang), sehingga biasanya dicampur dengan air dengan kandungan sekitar 30-50%.

- Karbon Aktif Butiran (Granular Activated Carbon)

GAC adalah karbon aktif dalam bentuk butiran atau kepingan (leak) dengan ukuran partikel 0,16-1,5 mm,

Prinsip Dasar Adsorpsi dengan Karbon Aktif:

Proses pengolahan air dengan karbon aktif merupakan proses adsorpsi secara fisis (physical adsorption) yaitu proses terkonsentrasinya molekul-molekul adsorbate (zat yang akan diadsorpsi dalam air (misalnya zat organik dan lainnya) ke permukaan karbon aktif karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul karbon aktif dengan molekul-molekul adsorbate yang ada dalam air (gaya Van der Waals). Karbon aktif adalah salah satu zat yang mempunyai daya menyerap zat-zat polutan yang ada dalam air sehingga zat tersebut akan menempel atau terkonsentrasi pada permukaan karbon aktif, sehingga konsentrasi zat polutan yang ada dalam air tersebut menjadi hilang atau berkurang (Said, 2017).

Kriteria Perencanaan

- Volume flowrate (V) = 50 – 400 m³/hari
- Volume bed (Vb) = 10 – 50 m³
- Luas penampang = 5 – 30 m²

- Panjang bed media (D) = 1,8 – 4 m
 - Densitas (GAC) = 350 – 550 kg/m³
 - Kecepatan aliran bed (Vf) = 5 – 15 m/jam
 - Waktu kontak bed kosong = 5 – 30 menit
 - Waktu kontak efektif (t) = 2 – 10 menit
 - Waktu operasi = 100 – 600 hari
- (Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, page 1152)
- Kf (Trichloroethylene) = 28 (mg/g) (L/mg)

2.3.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. 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 (Takashi Asano & Professor, 2007).

Sludge dalam disposal *sludge* memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan antara lain:

1. *Sludge* sebagian besar di komposisi dari bahan-bahan yang *responsible* untuk menimbulkan bau.
2. Bagian *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan biologis di komposisi dari bahan organik.
3. Hanya sebagian kecil dari *sludge* yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah *sludge drying bed*. *Sludge drying bed* merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi

panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan.

a. Bak Pengering Lumpur (Sludge Drying Bed)

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Kriteria desai unit bak pengering lumpur (SDB)

No	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23 – 30	cm	Qasim, 1985
2.	Tebal kerikil	20 – 30	cm	
3.	<i>Sludge loading rate</i>	100 – 300	kg/m ² . tahun	
4.	Tebal <i>bed</i>	20 – 30	cm	
5.	Lebar <i>bed</i>	5 – 8	m	
6.	Panjang <i>bed</i>	6 – 30	m	
7.	Waktu pengeringan	10 – 15	hari	
8.	<i>Uniformity coefficient</i>	< 4	-	
9.	<i>Effective size</i>	0,3 – 0,75	mm	

10.	V air dalam <i>inlet</i>	0,75	m/detik	Metcalf & Eddy 4th Edition, 2003
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200 – 300	mm	
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	mm	
15.	Koef. Keseragaman	< 4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3 – 0,785	%	
17.	<i>Slope</i>	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018)

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan Sludge Drying Bed (SDB) adalah sebagai berikut:

- Tebal media

$$\text{Tebal media} = \text{tebal pasir} + \text{tebal kerikil} + \text{tebal cake}$$

- Volume cake sludge

$$V_i = \frac{V \text{ lumpur} \times (1 - P)}{1 - P_i}$$

Keterangan:

P = kadar air

P_i = verat air dalam cake (60 – 70%)

- Volume bed

$$V = V_i \times t_d$$

Keterangan:

V_i = volume cake sludge (m³)

T_d = waktu detensi (detik)

- Volume tiap bed

$$V_b = \frac{V}{\text{jumlah bed}}$$

Keterangan:

V = volume bed (m³)

- Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

$$A = L \times W$$

Keterangan:

V_b = volume tiap bed (m³)

L = Panjang (m)

W = lebar (m)

- Kedalaman underdrain

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

Keterangan:

V_a = volume air

A = luas tiap bed

- Kedalaman total

H = tinggi cake + tinggi media

$$H_{\text{total}} = H + F_b$$

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total bak (m)

F_b = *freeboard* (10 – 30% kedalaman)

- Diameter pipa underdrain

$$Q = \frac{V_a}{t_d} \quad D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

Keterangan:

V_a = volume air

T_d = waktu detensi

Q = debit air

- Volume air

$$V_a = \frac{\text{volume cake sludge (V}_i) - \text{volume padatan}}{\text{jumlah bed}} \times t_d$$

Keterangan:

Td = waktu detensi

2.4 Persen Penyisihan Unit Pengolahan

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman % penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah tahu sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % penyisihan air limbah tahu beserta sumber yang tertera.

Tabel 2. 9 Persen penyisihan unit pengolahan air limbah

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Biofilter Anaerobik	COD	50 - 90%	(2nd Revise). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Halaman 78-79
	BOD	92,93%	Amri, K., & Wasen, P. (2017). Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Bermedia Plastik (Bioball)
	TSS	95 - 98%	Said, N. I. (2005). Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean
	Total - P	82,13%	Suwardawa, I Komang Tri., & Ali, Munawar. (2014). Anaerob Fixed Bed Reaktor Untuk Menurunkan COD, Fosfat (PO ₄) dan Deterjen (LAS). Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Biofilter Aerobik	BOD	75 - 80%	Said, Nusa Idaman. (2017) Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi, Hal 309
	COD	86%	Apema, F. D., Rahayu, D. W., Adnan, F., & Waryati. (2023). Penggunaan Media Sarang Tawon Dan BioBall Pada Biofilter Aerob Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry
	TSS	78,95%	
	Total - P	69,43%	
	Total - N	98,48%	Ji B, Wang H, Yang K. Nitrate and COD removal in an upflow biofilter under an aerobic atmosphere. Bioresour Technol. 2014 Apr;158:156-60. doi: 10.1016/j.biortech.2014.02.025. Epub 2014 Feb 15. PMID: 24594672.
Adsorpsi	Warna	93,23%	Belaon, B.T., & Hendrasarie, N. (2023). Penurunan Beban Organik Limbah Batik Jetis Menggunakan Adsorben Serat Tebu, Kulit Kedelai dan Kulit Bawang
Clarifier	BOD	20 - 40%	Metcalf & Eddy. (2004). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Hal 396
	TSS	50 -70%	

2.5 Pipa Hidrolis

Profil hidrolis adalah gambaran perbandingan level muka air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ditentukan berdasarkan besaran penurunan level muka air akibat beberapa hal. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya penurunan level muka

air antara lain jatuhan, belokan, kecepatan aliran air di bangunan, atau kecepatan air saat melalui *perfoated baffle*. Menurut Marsono (1995) profil hidrolis perlu menggunakan persamaan headloss dalam bangunan dan pipa.

Dalam perhitungan *headloss* akibat kehilangan tekanan dalam pipa, menggunakan persamaan Hazen-William sebagai berikut:

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,0015 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

Di mana:

H_f = major losses (m)

L = panjang pipa (m)

Q = debit (L/detik)

C = koefisien kekasaran pipa (120 untuk pipa PVC)

D = diameter pipa (cm)

Lalu headloss yang disebabkan adanya kecepatan air di bangunan, dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach yaitu sebagai berikut

$$HL = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

Di mana:

f = koefisien darcy = $1,5 \times \left(0,01989 + \frac{0,000508}{4R} \right)$

L = Panjang bangunan (m)

R = jari – jari hidrolis

v = kecepatan aliran (m/s)

Selanjutnya, headloss jatuhan dan belokan akan dihitung dengan menggunakan rumus Manning. Persamaan manning dijabarkan sebagai berikut.

$$HL = \left(\frac{v \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L$$

Di mana:

n = koefisien kekasaran manning

R = jari – jari hidrolis

L = Panjang jatuhan atau belokan (m)