

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Minyak Sawit

2.1.1 pH

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air maupun dari air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihan. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987).

2.1.2 BOD (Biological Oxygen Demand)

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). Biological Oxygen Demand (BOD) sebagai salah satu parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan. Analisa BOD pada perairan dapat meminimalisir jumlah toksik apabila nilainya telah diketahui dan dilakukan pengolahan secara biologis. (Daroini & Arisandi, 2020).

Biological Oxygen Demand atau Kebutuhan oksigen biologis adalah suatu parameter kimia untuk mengetahui kualitas perairan. Nilai BOD penting sebagai indikator kualitas perairan. Tingginya kandungan BOD dalam perairan menandakan kurangnya oksigen terlarut didalamnya. Kondisi tersebut memiliki dampak yaitu kematian organisme perairan seperti ikan dikarenakan kekurangan oksigen terlarut (anoxia) (Salmin, 2005).

Pada industri minyak sawit BOD yang dihasilkan adalah 278 mg/L, dari batas baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri minyak sawit

adalah 100 mg/L. Oleh karena itu perlu adanya pengolahan sebelum dibuang agar tidak mencemari lingkungan.

2.1.3 COD (Chemical Oxygen Demand)

Chemical Oxygen Demand merupakan jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi dari BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi apabila banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya teroksidasi secara kimia. Zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel. Zat anorganik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2004).

COD adalah kebutuhan oksigen yang digunakan dalam proses oksidasi kimia. COD juga disebut sebagai Chemical Oxygen Demand, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh oksidator untuk mengoksidasi semua bahan organik dan anorganik di dalam air. Jika konsentrasi senyawa organik dan anorganik cukup tinggi maka oksigen terlarut di dalam air dapat mencapai nol sehingga organisme perairan tidak dapat bertahan hidup (Amadea, 2018). Angka COD merupakan ukuran bagi beban pencemar air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi dengan proses mikrobiologis mengakibatkan berkurangnya kondisi oksigen dalam air.

Berdasarkan parameter pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 memiliki baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 karakteristik limbah dari kegiatan Industri minyak sawit sebesar 350 mg/L. Sedangkan karakteristik air limbah yang dihasilkan adalah 620 mg/L.

2.1.4 TSS (Total Suspended Solid)

TSS (Total Suspended Solid) adalah senyawa padat tersuspensi yang berada dalam air. Padatan tersebut berasal dari mineral, seperti silt, pasir yang

sangat halus, lempung, atau dari zat hasil uraian jasad makhluk hidup. Selain itu, juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain- 6 lainnya. TSS ini menyebabkan kekeruhan atau perubahan warna dalam air (Said,2017).

Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi merupakan partikel tersuspensi berdiameter $>1 \mu\text{m}$, yang tertahan di saringan millipore dengan diameter pori-pori $0,45 \mu\text{m}$ yang terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad renik yang mengambang di air. Penyebabnya karena pengikisan atau erosi tanah yang terbawa ke badan air yang berasal dari limpasan air hujan atau erosi tanah (Nurfatimah dkk., 12 2019; Wisha & Ondara, 2017). Total Suspended Solid menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap (Maulana et al. 2015). TSS sering digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kualitas air di suatu perairan, hal tersebut dilakukan karena nilai TSS yang tinggi menunjukkan tingginya tingkat pencemaran perairan.

Kandungan TSS pada perencanaan kali ini adalah sebesar 80 mg/L yang dimana standar baku mutu yang mengatur besar kandungan COD untuk dibuang ke badan air adalah sebesar 250 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri minyak sawit ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, dan minyak air limbah. 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 Lumpur (Sludge Treatment)

2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah unit yang berfungsi untuk mendistribusikan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Saluran pembawa memiliki 2 jenis yaitu saluran terbuka dan tertutup (pipa). Saluran terbuka biasanya terbuat dari beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran. Perencanaan saluran pembawa selalu memperhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Jenis-jenis saluran pembawa seperti pada gambar 2.1



a

b

Gambar 2.1 a. Saluran tertutup b. Saluran terbuka

Sumber : area-tekniksipil.blogspot.com

Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan, saluran tertutup (pipe flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu didalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.

Adapun kriteria perencanaan saluran terbuka yang digunakan adalah sebagai berikut :

Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316)

Freeboard = 5% - 30%

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159)

Koefisien Manning (n) Untuk Bahan Saluran Beton = 0,013

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 111)

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

$$\text{Luas permukaan saluran (cross) } A = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{s)}}{v \text{ (m/s)}}$$

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/s)

v = kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

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

Dimensi Saluran Pembawa

Kedalaman Saluran

Kedalaman (H) $= \frac{A \text{ (m}^2\text{)}}{W \text{ (m)}}$ = berasal dari rumus lebar x tinggi penampang saluran

(cross), dengan perencanaan lebar (W) = 2 x tinggi saluran (h), maka: (Chow, 1959)

Lebar Saluran (W)

Lebar (W) = 2 x H Saluran

Jari-Jari Hidrolis (Saluran Terbuka Rectangular)

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

(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 19)

Slope dan Headloss Saluran

$S = \frac{\Delta H}{\Delta L}$, menggunakan rumus kemiringan sederhana:

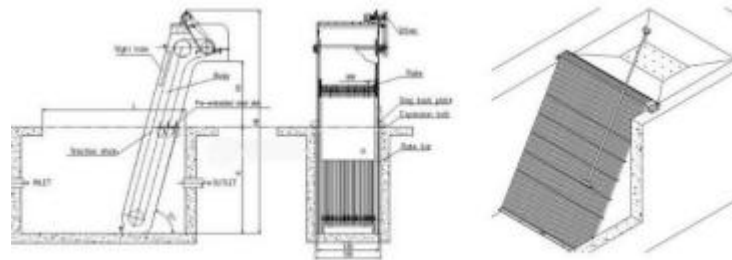
sehingga perbedaan elevasi saluran awal dengan akhir sebesar 4 cm untuk memperoleh slope 0,01 m/m

Cek Kecepatan Saluran (v)

$$V = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{s)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$H_f = S \times L$$

2.2.2 Screen



Gambar 2.2 Unit Bar Screen

(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

Screening atau biasa disebut dengan bar screen 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 >0,5-1,0cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 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: (1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus)

dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996).

Screening atau saringan biasa dilakukan pertama dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, fungsi screening adalah untuk memisahkan berbagai benda yang ada pada air limbah yang dapat menyebabkan kerusakan pada unit sistem pompa, pemisah lumpur, dan pipa apabila tidak dipisahkan. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah serius terhadap pemeliharaan dan operasional peralatan (Said, 2017).

Prinsip screening adalah menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan kerusakan alat pada alat pengolahan, mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan, adanya kontaminasi pada aliran air (Metcalf & Eddy, 2004).

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

Lebar Kisi (d)	= 5-15 mm
Jarak Antar Kisi (r)	= 25-50 mm
Kedalaman (h)	= 25-38 mm
Kecepatan Melalui Bar Screen (v)	= 0,3 – 0,6 m/s
Headloss Maksimal (Hf)	= 150 mm = 0,15 m
Kemiringan Kisi (°)	= 30°- 45°

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316)

Tinggi Bar Screen

Tinggi Bar Screen = H_{Total}

Tinggi Bar Screen = $H_{Saluran} + (20\% \times H_{Saluran})$

Jumlah Kisi (n)

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

Lebar Buka Kisi (W_c)

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

Dimensi Bar Screen

Panjang Sisi Miring Bar Screen (x)

$$\sin \alpha = \frac{h}{x}$$

Lebar Bar Screen

$$\cos \alpha = \frac{w}{x}$$

Cek Kecepatan Setelah Melalui Bar Screen (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{W_c \times H}$$

Kecepatan Penggelontoran Saat Clogging 50%

$$V_c = \frac{Q}{(50\% \times W_c) \times H}$$

Head Loss Pada Bar Screen (Saat Normal)

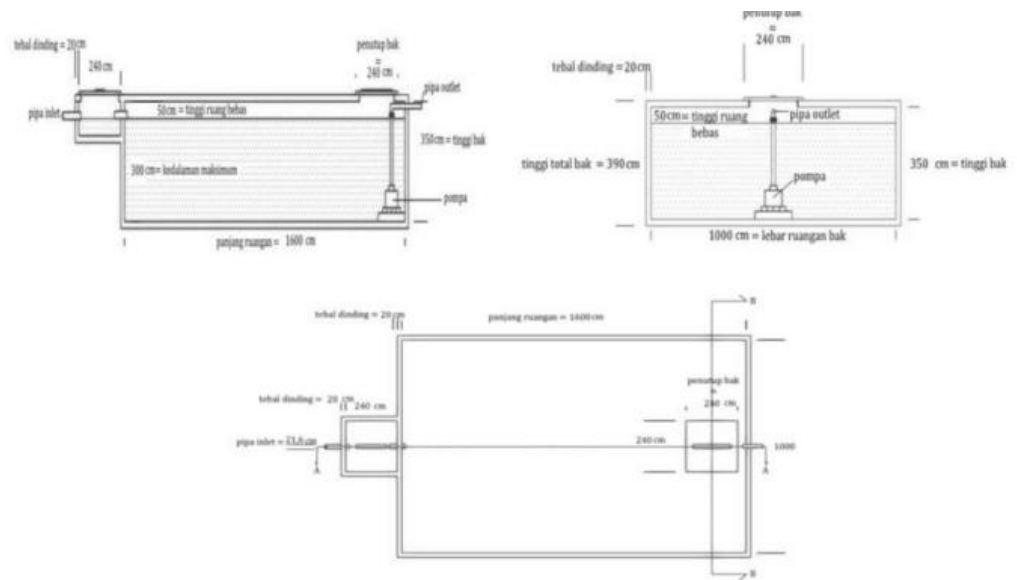
$$H_f = \frac{l}{c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

Headloss Pada Bar Screen (Saat Clogging)

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

2.2.3 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 penampung 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 penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.3 Denah Potongan Bak Penampung

Sumber: Effendi, 2003

Pada perancangan ini digunakan bak Penampung, adapun kriteria perencanan dan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Waktu Tinggal (T_d) $= < 2$ jam

Tinggi bak (H) $= 1,5 \text{ m} - 3 \text{ m}$

Freeboard $= 5\% - 30\%$

(Sumber: Metcalf and eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition, halaman 343-344)

Koefisien Pipa Jenis Cast Iron Pipe (C) $= 130$

(Sumber: Soufyan dan Morimura, Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, halaman 71)

Perhitungan

Volume Bak Penampung

$$V = Q \times T_d$$

Dimensi Bak Penampung

Luas

$$V = A \times H$$

Lebar

$$L = 2 \times W$$

$$A = L \times W$$

Panjang

$$L = 2 \times W$$

Kedalaman Total (HTotal)

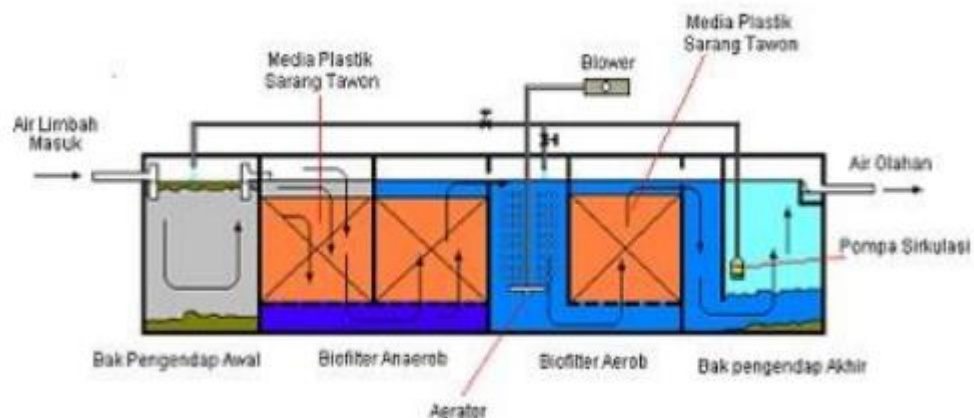
$$HTotal = H + (20\% \times H)$$

Jari-Jari Hidrolis

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

2.2.5 Biofilter Aerob

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. 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 organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).



Gambar 2.5 Biofilter Aerob

Pengolahan air limbah dengan biofilm dan biofilter tercelup dilakukan dengan mengalirkan air limbah ke reaktor biologis dimana didalamnya

terdapat media penyangga yang berguna dalam pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Proses biofilter aerobik dilakukan dengan memberikan udara atau oksigen. Dimana posisi media biofilter tercelup dibawah permukaan air. Senyawa polutan yang berada di air limbah seperti senyawa organik, ammonia, fosfor, dan lainnya akan berdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. ada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam 23 lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain adalah aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift pump", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Kriteria Perencanaan

Waktu tinggal (Td)	= 2-6 jam
Tinggi ruang lumpur	= 0,5m
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	= 1,2m
Media biofilter	
Tipe = Hexagonal Bee comb (Sarang tawon)	
Material	= PVC Sheet

Ketebalan	= 0,15 – 0,23mm
Luas kontak spesifik	= 150 – 226 m ² /m ³
Diameter lubang	= 3cm x 3cm
Berat spesifik	= 30 - 35 kg/m ³
Porositas rongga	= 0,98

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

Blower

Densitas udara	= 1,2kg/m ³
Berat aliran udara (w)	= 85 – 1700m ³ /menit
Tekanan absolut outlet (P2)	= 25 lb/in ² = 1,7 atm 125
Tekanan absolut inlet (P1)	= 14,7 lb/in ² = 1 atm

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. Hal 440)

Perhitungan

Beban BOD di dalam air limbah

$$= \frac{Q \times BOD \text{ Inlet}}{\text{jumlah unit}}$$

Efisiensi removal BOD = 87%

Jumlah BOD yang dihilangkan = 87% x Kadar

Volume media yang diperlukan

$$V \text{ media} = \frac{\text{Beban BOD Air Limbah}}{\text{Beban BOD } V \text{ Media}}$$

Volume reaktor yang diperlukan

$$V \text{ reaktor} = \frac{100}{40} \times V \text{ media}$$

Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor

$$T_d \text{ reaktor} = \frac{V \text{ reaktor}}{Q} \times 24 \text{ jam}$$

Dimensi reaktor

Bak reaktor biofilter menggunakan 1 reaktor

$$V. \text{reaktor} = P \times L \times H$$

Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

Ruang Media

$$\text{Panjang} = \frac{V \text{ media}}{L \times H}$$

$$H \text{ air} = H \text{ reaktor} - \text{Freeboard}$$

Ruang Aerasi

$$\text{Panjang} = P \text{ Reaktor} - P \text{ Ruang Media}$$

$$H \text{ air} = H \text{ reaktor} - \text{Freeboard}$$

Total volume efektif biofilter aerobik

$$\text{Volume total} = P \times L \times H$$

Volume total media biofilter aerobik

$$\text{Volume total} = P \times L \times H$$

BOD loading per volume media

$$\text{BOD per volume} = \frac{\text{Total volume efektif}}{\text{volume total media}}$$

$$\text{BOD per volume} = \frac{120 \text{ m}^3}{72 \text{ m}^3}$$

$$\text{BOD per volume} = 1,7 \text{ kgBOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Produksi Sludge

$$\text{Beban COD yang diterima} = \text{Kadar} \times \text{Debit}$$

$$\text{Beban COD lumpur} = 88\% \times \text{Beban COD}$$

$$\text{Beban BOD yang diterima} = \text{Kadar} \times \text{Debit}$$

$$\text{Beban BOD lumpur} = 87\% \times \text{Beban BOD}$$

$$\text{Beban TSS yang diterima} = \text{Kadar} \times \text{Debit}$$

$$\text{Beban TSS lumpur} = 94\% \times \text{Beban COD}$$

Maka Volume lumpur biofilter aerob :

$$= \frac{\text{Total lumpur yang dihasilkan}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

Kebutuhan oksigen

$$\text{BOD yang masuk} = \text{BODin} \times \text{Qin}$$

BOD dihilangkan

$$= (\text{BODin} \times \text{Removal BOD}) \times \text{Qin}$$

Kebutuhan O2 teoritis

$$= 1,4 \times \text{BOD dihilangkan}$$

$$\text{Suhu rata-rata (T)} = 28^\circ\text{C}$$

Berat udara = 1,17 kg/m³

Asumsi jumlah O₂ = 0,23g $\frac{O_2}{g}$

Jumlah kebutuhan O₂

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

Efisiensi udara aktual = 0,01

Kebutuhan udara aktual

$$= \frac{\text{Jumlah Kebutuhan}}{\text{Oksigen efisiensi udara}}$$

2.2.6 Clarifier

Sedimentasi adalah pemisahan padatan-cairan menggunakan pengendapan gravitasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Bak sedimentasi biasanya dibuat dari beton bertulang dan dapat berbentuk lingkaran, bujur sangkar, atau persegi panjang sesuai perencanaan (Reynolds & Richards, 1996).

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung sehingga mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah. Tangki sedimentasi primer yang dirancang dan dioperasikan secara efisien tanpa penambahan bahan kimia dapat menghilangkan 50-70% padatan tersuspensi dan 25-40% BOD. Kriteria-kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: surface loading (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2004).

Clarifier adalah pengolahan lanjutan dari pengolahan terdahulu jika banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah khusus, seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri patogen lainnya.

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada unit clarifier antara lain:

Kriteria Perencanaan

Bentuk bak pengendap 2 (clarifier) = circular

Kedalaman (H)	= 3 – 4,9 m
Diameter	= 3 – 60 m
Bottom slope	= 1/16 – 1/6 mm/mm
Flight speed	= 0,02 – 0,05 m/menit
(Sumber: Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)	
Waktu detensi	= 1,5 – 2,5 jam
Over flow rate Average	= 30 – 50 m ³ /m ² .hari
Peak	= 80 – 120 m ³ /m ² .hari
Weir loading	= 125 – 500 m ³ /m ² .hari
(Sumber: Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 398)	
Diameter inlet well bak	= 15% - 20% diameter
(Sumber: Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)	
% Removal Total Suspended Solid (TSS)	= 50 – 70%
(Sumber: Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 497)	
Konsentrasi solid	= 4% - 12%
(Sumber: Metcalf & Eddy, WasteWater Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 411)	
Massa jenis air (ρ), T = 28°C	= 0,9962 g/cm ³ = 996,26 kg/L
Viskositas absolut (μ)	= 0,8363 × 10 ⁻³ Ns/ m ³
Viskositas kinematis	= 0,8394 × 10 ⁻⁶ m ² /s
(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)	
Bilangan Reynold (NRE) untuk Vs	= < 1 (Laminer)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 224. Boston: PWS Publishing Company)

$$\text{Specific gravity sludge (Sg)} = 1,005$$

$$\text{Specific gravity solids (Ss)} = 1,25$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 1456)

$$\text{Bilangan Reynold (NRE) untuk Vh} = 105$$

(Sumber: SNI 6774 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air 2008, hal 6)

$$\text{Ketinggian inlet well} = 0,5 - 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan inlet well} = 0,3 - 0,75 \text{ m/s}$$

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 401)

$$\text{Slope dasar bak} = 6 - 10 \%$$

(Sumber: Huisman, Sedimentation and Flotation, hal 44)

Perhitungan

1. Zona Settling

Luas Surface Area

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

Diameter (D)

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

Cek luas *Surface Area*

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

Cek Over Flow Rate OFR

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

Volume bak

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

Cek Td

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

Kecepatan pengendapan partikel

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

Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \cdot 18 \cdot \nu}{g (S_s - 1)}}$$

Kecepatan horizontal di bak

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

Jari – jari Hidrolis

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

Cek bilangan Nre

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

Cek bilangan Froude

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

Cek kecepatan penggerusan / *scouring*

K = konstanta kohesi untuk partikel yang saling mengikat = 0,06

F = faktor friksi Darcy-Weisbach antara 0,02-0,03; F = 0,03

$V_s > V_h$

$$V_s = \frac{\sqrt{8K (s-1) \times g \times D_p}}{f}$$

2. Zona Inlet

Diameter inlet wall (D')

$D' = 20\% \times \text{diameter bak}$

Luas area inlet wall

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

Kecepatan air di inlet well

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

Luas penampang pipa inlet

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

Diameter pipa inlet

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

Cek Kecepatan pipa inlet

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

3. Zona Thickening

MLVSS Clarifier = MLVSS total - MLVSS

Massa solid = MLVSS Clarifier x V Bak

$$H \text{ Zona Thickening} = \frac{M \text{ Solid}}{\text{Konsentrasi MLSS} \times A}$$

4. Zona Sludge

Total Lumpur = MLVSS (Pxv) x Waktu Pengurasan

Total Lumpur dibak = Total Lumpur + M Solid

$$V \text{ lumpur di Bak} = \frac{\text{Total Lumpur Bak}}{\rho \text{ sludge}}$$

$$Q \text{ lumpur} = \frac{\text{Volume Lumpur di Bak}}{\text{Waktu Pengurasan}}$$

Volume air

V air = 95% x VL

Berat Air = V air x berat jenis air

V Solid = 5% x VL

Berat Solid = V Solid x $\rho \text{ sludge}$

Dimensi Ruang Lumpur

$$\text{Volume} = \pi r^2 \times H$$

Kedalaman Total Clarifier

H total = H settling + H thickening + H sludge

Luas penampang pipa lumpur

$$A = Q_{in} / V$$

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

2.2.7 Sludge Drying Bed

Unit sludge drying bed (SDB) memiliki fungsi untuk membantu proses pengeringan lumpur dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari (Dian & Herumurti, 2016). Menurut Putri (2015), lumpur dari pengendapan biologis akan diangkut dan diletakkan pada unit SDB yang dilengkapi dengan media pasir dan kerikil sehingga cairan dan padatan akan terpisah. Cairan akan menuju ke saluran bawah dan padatan akan dikeringkan dengan menggunakan cahaya matahari. Menurut Cofie dkk. (2006), ketebalan media pasir kasar dan halus yang digunakan sebagai media masing-masing adalah 15 cm. Sedangkan untuk media kerikil yang digunakan memiliki ketinggian optimum 25 cm. Dengan desain sedemikian rupa, didapatkan waktu pengeringan lumpur selama 2 minggu dengan ketebalan lumpur 30 cm.

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 59 keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007)

Adapun Perhitungan dari SDB sebagai berikut

Kriteria Perencanaan

Waktu Pengeringan = 5 – 6 hari (20 cm)

= 7 – 9 hari (30 cm)

= 9 – 11 hari (40 cm)

(Sumber : Pengeringan Lumpur Ipal Biologis Pada Unit Sludge Drying Bed, Ummah & Herumurti, 2018)

Tebal sludge cake = 20 – 30 cm

Tebal pasir = 23 – 30 cm

Lebar = 3-9 m

Panjang = 6 – 30 m

Slope = 1%

Kecepatan aliran pipa (v) = > 0,75 m/s

Berat air dalam cake (Pi) = 60% - 70%

Kadar air (P) = 60% - 80%

Kadar solid = 20% - 40%

Sludge loading rate = 120 – 150 kg/solid kering/ m^2 .tahun

(Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 1570-1572)

Perhitungan

Tebal Media

Tebal Media = Tebal Pasir + Tebal Kerikil + Tebal Cake

Total Volume Lumpur

V. Lumpur = Sludge Biofilter aerobik + Sludge Clarifier

Volume Lumpur Tiap Bak (Vb)

$$V_b = \frac{\text{Volume Lumpur}}{\text{Jumlah Bed}}$$

Volume Sludge Cake (Vi)

$$V_i = \frac{V_b (1-p)}{(1-p)}$$

Volume Sludge Drying Bed (V)

$$V = V_i \times T_d$$

Dimensi Sludge Drying Bed

$$A = \frac{V}{\text{Tebal Cake}}$$

$$A = L \times W$$

Volume air (Va)

$$V_a = V_{sdb} \times (\text{kadar air} - P_i)$$

Kedalaman Underdrain

$$H_{\text{Underdrain}} = \frac{V_a}{A_{bed}}$$

Kedalaman Total

$$H_{\text{air}} = \text{Kedalaman media} + \text{Kedalaman underdrain}$$

$$H_{\text{bangunan}} = H_{\text{air}} + H_{fb}$$