

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Rokok

Parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran organik pada air limbah dan air permukaan pada umumnya adalah BOD lima (5) hari (BOD_5). Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses oksidasi biokimia pada bahan organik. (Metcalf & Eddy, 2003).

Pada umumnya, Hasil analisa BOD digunakan untuk :

1. Menentukan perkiraan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis.
2. Menentukan ukuran fasilitas pengolahan limbah.
3. Menghitung efisiensi dari beberapa proses pengolahan.
4. Menentukan pemenuhan izin pembuangan air limbah.

Oleh karena itu, kemungkinan bahwa pengujian BOD_5 akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan- batasannya. (Metcalf & Eddy, 2003)

Kandungan BOD_5 yang ada di industri rokok adalah 3400 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, BOD_5 yang diperbolehkan adalah 150mg/L.

2.1.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

Uji COD digunakan untuk menghitung jumlah oksigen dari bahan organik air limbah yang dapat dioksidasi secara kimiawi menggunakan dikromat dalam asam. (Metcalf & Eddy, 2003)

Meskipun dapat diprediksi nilai BOD ultimate sama tinggi dengan COD, dalam kasus ini dapat dikategorikan berbeda. Beberapa alasan hal tersebut dikategorikan berbeda adalah karena:

1. Banyak bahan organik yang sulit dioksidasi secara biologi (seperti lignin) dapat dioksidasi secara kimia.
2. Bahan anorganik yang dioksidasi dengan dikromat meningkatkan

kadar organik secara nyata dalam sampel.

3. Bahan organik tertentu yang bersifat racun bagi mikroorganisme juga digunakan saat uji BOD.
4. Tingginya nilai COD karena adanya bahan anorganik yang dapat bereaksi dengan kromat. (Metcalf & Eddy, 2003)

Dari segi operasional, salah satu keuntungan dari uji COD yaitu dapat dilakukan hanya dalam sekitar 2,5 jam, tidak sebanding dengan proses pengujian BOD₅ yang membutuhkan 5 hari lebih untuk proses pengujiannya. Untuk mengurangi durasi pengujian COD, telah dikembangkan proses pengujian COD yang hanya membutuhkan waktu sekitar 15 menit (Metcalf & Eddy, 2003)

Kandungan COD yang ada di industri rokok adalah 1.500 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, COD yang diperbolehkan adalah 300mg/L.

2.1.2 Total Suspended Solid (TSS)

Limbah pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi atau penyaringan (Metcalf & Eddy, 2003)

Karena sebuah filter digunakan untuk memisahkan Total Suspended Solid (TSS) dari Total Dissolve Solid (TDS), kandungan TSS tersisihkan sering berubah, bergantung pada ukuran pori dari kertas saring yang digunakan pada proses pengujian. Jumlah TSS yang lebih akan teridentifikasi apabila menggunakan ukuran porositas kertas saring yang lebih kecil. TSS merupakan parameter universal yang digunakan untuk standar effluent (bersama dengan BOD) yang mana hasil dari pengolahan digunakan untuk proses pengontrolan. (Metcalf & Eddy, 2003)

Kandungan TSS yang ada di industri rokok adalah 500 mg/L.

Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, TSS yang diperbolehkan adalah 100 mg/L.

2.1.3 Minyak dan Lemak

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan darilemak pada umumnya tercampur dengan berbagai macam trigliserida (ester gliserol dari asam lemak). Minyak dan lemak juga sering pada tumbuhan dan hewan, yang merupakan komponen penting bagi kehidupan manusia. (EPA, 1997)

Setiap aspek pengolahan awal perlu mempertimbangkan kehadiran minyak dan lemak dalam limbahnya. Hal ini disebabkan karena kehadiran kandungan minyak dan lemak dalam limbah industri dapat menghasilkan banyak permasalahan dalam proses pengolahan limbah industri. Permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri antara lain:

- Tersumbatnya saluran pembawa.
- Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa
- Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya.
- Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.
- Tertutupnya porositas (pori-pori) karbon aktif akibat minyak dan lemak pada proses filtrasi.
- Sukarnya pemadatan dan pengurangan kandungan air pada proses *biosolid* (Terrence P. Driscoll and Friends, 2008)

Minyak dan lemak pada umumnya hadir pada limbah industri dalam bentuk minyak secara umum (yang pada umumnya mengapung di atas air), minyak dalam bentuk emulsi, dan minyak yang tercampur dengan padatan tertentu. Untuk minyak secara umum dapat dipisahkan secara gravitasi, hal itu disebabkan karena *specific gravity* (sg) minyak berada pada nilai yang lebih kecil dari 1. Minyak hasil olahan petroleum dapat dipisahkan dari limbah dengan *skimmer* yang digerakkan pada bagian atas bak sedimentasi, termasuk minyak dari proses *refinery*, pabrik *petrochemical*, manufaktur logam dan *laundry*. (Terrence P. Driscoll *and Friends*, 2008)

Minyak yang teremulsi merupakan campuran minyak yang bersifat stabil, yang tidak dapat secara cepat dipisahkan dengan proses gravitasi tanpa penambahan bahan kimia tertentu (bahan kimia deemulsifikasi). Minyak yang teremulsi dapat berbentuk fisika maupun kimiawi. Emulsi fisika merupakan campuran dari air dan minyak pekat atau bahan lain yang berminyak yang pada umumnya tidak terlarut dalam air, mereka juga biasanya terbentuk secara mekanik (melalui proses pemompaan sentrifugal secara cepat). Emulsi fisika juga pada umumnya tidak terlalu stabil (lebih mudah dipisahkan) dibandingkan dengan emulsi secara kimia yang hanya dapat dipisahkan dengan pemanasan atau dengan pembubuhan koagulan (seperti aluminium sulfat ($\text{Al}(\text{SO}_4)_2$) (Terrence P. Driscoll *and Friends*, 2008)

Emulsi kimiawi banyak dijumpai pada cairan yang digunakan pada bagian mesin pada industri otomotif dan industri perakitan mesin. Cairan ini biasanya merupakan campuran dari beberapa bahan kimia yang tercampur secara stabil (*petroleum*, mineral dan air) oleh karena pembubuhan agen *emulsifier*. Untuk memisahkan minyak dari air, agen *emulsifier* harus dipecah dengan penambahan senyawa asam pada limbah (seperti aluminium sulfat ($\text{Al}(\text{SO}_4)_2$) (Terrence P. Driscoll *and Friends*, 2008).

Adapun tipe dan definisi bentuk kehadiran minyak dan lemak dalam limbah antara lain:

1. Minyak bebas, merupakan minyak yang hadir dalam air namun tidak tercampur akibat perbedaan *specific gravity* (s) yang terjadi di antaranya. Dapat dipisahkan secara gravitasi.
2. Emulsi fisika, merupakan minyak yang tercampur ke dalam air secara stabil dan membentuk padatan pada ukuran 5-20 μm . Terbentuk akibat proses pemompaan pada pipa dan *valve*.
3. Emulsi kimia, merupakan minyak yang tercampur dalam air dan membentuk padatan pada ukuran $< 5 \mu\text{m}$. Terbentuk akibat kehadiran deterjen, senyawa basa, *chelating agent*, dan protein.
4. Minyak terlarut, merupakan minyak yang terlarut dalam air. Dapat dideteksi dengan analisa *infrared* dan sebagainya.
5. Padatan berminyak, merupakan minyak yang menempel pada permukaan padatan pada limbah (Arizona Department of Environmental Quality, 1996)

2.1.4 Phenol

Pada proses pewarnaan dan pembilasan rokok dapat menghasilkan air limbah yang berwarna. Zat warna yang dapat digunakan antara lain phenol dan logam. (Clifton Potter, M. Soeparwadi, Aulia Gani, 1994).

Kandungan Phenol air buangan Industri Rokok ini adalah 50, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan phenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5.

Phenol merupakan padatan tidak berwarna, dan bersifat higroskopis. Phenol merupakan racun protoplasma dan bersifat toksik terhadap segala jenis sel, kadar phenol yang tinggi akan mengendapkan protein tanpa koagulasi.

2.1.5 Derajat Keasaman (pH)

Konsentrasi ion hidrogen adalah kualitas yang penting untuk air bersih dan air buangan. Konsentrasi ion hidrogen biasanya disebut pH, yang diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hydrogen.

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Kebanyakan Mikroorganisme dapat hidup pada tingkat keasaman (pH) antara 6-9. Limbah dengan tingkat keasaman (pH) ekstrim sulit diolah secara biologi. Jika tingkat keasaman (pH) tidak diolah sebelum dialirkan, maka limbah cair akan mengubah tingkat keasaman (pH) pada air alami. Untuk proses pengolahan limbahcair, tingkat keasaman (pH) yang boleh dikeluarkan menuju badan air biasanya beradapada rentang antara 6.5 sampai 8.5. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH beserta indikator warna pH yang dijadikan patokan. (Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2. 1 pH meter dan kertas pH Universal

Sumber: www.google.com

Untuk pH yang ada di industri rokok adalah 5. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, tingkat keasaman yang diperbolehkan berada pada rentang antara 6-9.

2.1.6 NH₃-N (Ammonia Total)

Ammonia Total adalah jumlah ion amonia dan ammonium bebas dalam air. Amonia berada di air permukaan, air tanah, dan terutama di air limbah. Saat kita mendisinfeksi ketiga jenis air ini melalui penambahan klorin, interaksi antara klorin dan amonia terjadi ini dapat membentuk kloramin. Amonia sengaja ditambahkan ke air untuk mendapatkan monokloramin (spesies kimia yang kurang reaktif dengan senyawa organik dalam air).

Untuk ammonia total yang ada di industri rokok adalah 9 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, ammonia total yang diperbolehkan adalah 3 mg/L.

2.2 Bangunan Pengolah Air Buangan

2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah 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. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Dan disetiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka di butuhkan kemiringan

Kriteria Perencanaan

- Kecepatan aliran (v) = 0,2 – 0,8 m/s
- Kemiringan / Slope maksimal (s_{max}) = 1.10^{-3} m/m
- Freeboard = 5 – 30 % dari ketinggian
- Dimensi saluran = $L = 2H$

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2004)

Rumus

- Luas Permukaan (A)

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

dengan :

A : Luas Permukaan Saluran Pembawa (m^2)

Q : Debit Limbah (m^3 /detik)

v : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

- Kedalaman Air Dalam Saluran (h)

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

h : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

A: Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)

- Kedalaman total (H total)

$$H \text{ total} = h + \text{freeboard} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

H total : Kedalaman total (m)

Freeboard : Kedalaman Jika Sewaktu - waktu Terjadi Fluktuasi (m)

- Lebar (L)

$$L = 2 \times H \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan

L : Lebar (m)

H : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

- Cek Kecepatan (Vcek)

$$v = \frac{Q}{B \times H} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

V : Cek kecepatan (m/s)

Q : Debit Air Limbah (m³/detik)

B : Lebar (m)

h : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

- Jari – Jari Hidrolis (R)

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

R : Jari – Jari Hidrolis (m)

B : Lebar (m)

h : Kedalaman Air Dalam Saluran (m)

- Slope (m)

$$Slope = \left(\frac{n \times v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

S : Kemiringan (m)

n : Koef Kekasaran Manning

v : Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m/s)

R : Jari – Jari Hidrolis (m)

2.2.2 Strainer

Strainer atau saringan ini adalah alat penyaring kotoran yang berbentuk cair, padat atau gas. Strainer ini dipasang pada jalur pipa sehingga aliran yang akan diproses menjadi lebih baik mutunya. Tipe –tipe strainer dibagi menjadi:

1. Tipe T
2. Tipe Y
3. Tipe Sementara
4. Tipe datar.



Gambar 2. 2 Strainer

Sumber: www.google.com

Strainer digunakan sebagai pengganti proses penyaringan (*screen*) untuk partikel yang tidak terlalu besar. Pemasangan strainer diletakkan pada ujung pipa.

2.2.3 Bak Penampung

Tujuan dari menampung air limbah di bak penampung yakni untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari aliran air limbah yang diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya.

Cara kerja daripada bak penampung ini adalah, ketika air limbah yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air limbah dialirkan ke bak penampung. Disini debit air limbah diatur. Agar dapat memenuhi kriteria perencanaan untuk unit bangunan selanjutnya.

Kriteria Perencanaan

- Waktu tinggal dalam bak = kurang dari 2 jam
- Tinggi bak = 1,5 – 2,5 m

(Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus

- V bak kontrol
 $V = Q \times Td \dots\dots\dots(2.8)$

- Dimensi bak pengumpul
 $V = P \times L \times H \dots\dots\dots(2.9)$

- Kedalaman total $H_{total} = H + \text{freeboard}$

- Check Td
 $Td = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots(2.10)$

Dimana :

V = Volume (m³)

Q = Debit (m³/s)

Td = Waktu tinggal (s)

H = tinggi bak

2.2.4 Grease Trap

Grease Trap adalah alat perangkap *grease* atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Terbuat dari pasangan bata maupun *stainless steel* sehingga aman dari korosi. Alat ini cocok digunakan di rumah tangga dan di restoran.

Grease Trap juga dikenal sebagai pengecat lemak, perangkat pemulihan(recovery) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar lemak/minyak dan zat padat lain sebelum memasuki sistem pembuangan air limbah. Limbah umumnya mengandung sejumlah kecil minyak yang masuk ke dalam septik tank dan fasilitas pengolahan untuk membentuk lapisan buih mengambang.

Lapisan minyak dan lemak ini sangat lambat diolah (dicerna) dan dipecah oleh mikroorganisme dalam proses pencernaan anaerobik. Namun, jumlah yang sangat besar minyak dari produksi makanan di dapur dan restoran bisa membanjiri tangki septik atau fasilitas perawatan, menyebabkan pelepasan limbah yang tidak diolah ke lingkungan. Selain itu, viskositas lemak yang tinggi dari minyak masak seperti lemak babi menjadi padat saat didinginkan, dan dapat bersama sama dengan limbah padat lain membentuk penyumbatan di pipa saluran.

Semakin bertambahnya waktu, semakin tebal pula lapisan minyak dan lemak yang ada pada *grease trap*. Sehingga dibutuhkan pembersihan dengan cara kotoran yang ada di bak penampung minyak pada *grease trap* dihisap oleh pipa penghisap melalui *manhole*.

Jenis *Grease Trap*:

- a. Yang paling umum adalah *grease trap* pasif, yaitu titik perangkat sederhana yang digunakan di bawah kompartemen bak cuci dalam dapur. *Grease trap* ini membatasi aliran dan menghapus 85-90% dari lemak dan minyak yang masuk. Makanan padat bersama dengan lemak, minyak, dan lemak akan terjebak dan disimpan dalam

perangkat ini.

- b. Jenis yang paling umum kedua adalah tangki *in-ground* berukuran besar, yang biasanya 500-2000 galon. Unit-unit ini dibangun dari beton, fiberglass, atau baja. Dengan sifat ukuran lebih besar, perangkat ini memiliki kapasitas penyimpanan lemak dan limbah padat yang lebih besar untuk aplikasi aliran limbah yang tinggi seperti pada restoran atau rumah sakit. Trap ini biasa disebut pencegat gravitasi (*gravity interceptors*). Pencegat / trap memerlukan waktu retensi dari 30 menit untuk memungkinkan lemak, minyak, gemuk dan limbah padat makanan untuk menetap di tangki. Semakin banyak limbah masuk ke tangki maka begitu pula air yang bebas lemak didorong keluar dari tangki.
- c. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices* atau Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak atau minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Kriteria Perencanaan

- Kecepatan aliran = 2-6 m/jam
- Waktu tinggal = 5 – 20 menit
(Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017)

Rumus

- Volume yg dibutuhkan
 $V = \text{debit influen} \times \text{waktu detensi} \dots\dots\dots (2.11)$
- Luas area yang dibutuhkan
 $A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots (2.12)$
- Panjang kompartemen 1 = 2/3P
Panjang kompartemen 2 = 1/3P
 $A' = P \times L \dots\dots\dots (2.13)$
- Cek Kecepatan Aliran :
 $V = \frac{Q \text{ influen}}{\text{luas permukaan}} \dots\dots\dots (2.14)$

- Kedalaman tangki
 - Kedalaman aktif = 0,5 m
 - Tinggi area pengendapan = 0,3 m
 - Tinggi scum = 0,2 m
 - Freeboard = 0,3 m
 - Tinggi Total = 1,3 m
- Efisiensi pengolahan
 - Konsentrasi lemak minyak dalam effluen = (1-efisiensi) x konsentrasi minyak (2.15)
- Dimensi Pipa
 - $A = \frac{Q}{v}$ (2.16)
 - $A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$ (2.17)
- Headloss Grease Trap
 - Jari – Jari Hidrolis (R)
 - $R = \frac{B \times H}{B + 2H}$ (2.18)
 - Slope
 - $Slope = \left(\frac{n \times v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$ (2.19)

2.2.5 Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa, alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda diantara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas buffer yang terjadi karena ada produk CO_2 dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam.

Larutan dikatakan asam bila : $\text{H}^+ > \text{Hdan pH} < 7$

Larutan dikatakan netral bila : $\text{H}^+ = \text{Hdan pH} = 7$

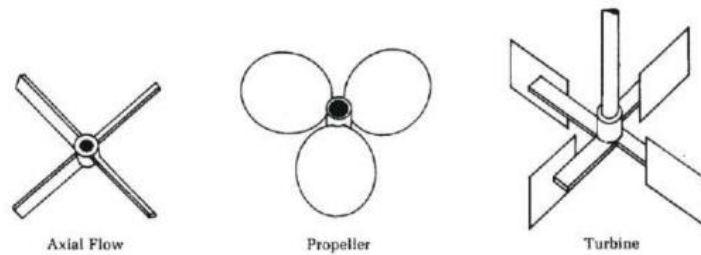
Larutan dikatakan basa bila : $\text{H}^+ < \text{Hdan pH} > 7$

Ada beberapa cara menetralisasi kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti :

- Pencampuran limbah.
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH , Na^2CO^3 atau NH^4OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat ($\text{H}^2\text{SO}^4, \text{HCl}$) dalam limbah basa.
- Penambahan CO^2 bertekanan dalam limbah basa. Pembangkitan CO^2 dalam limbah basa.

Proses pencampuran dilakukan dengan prinsip mekanisme mixing yaitu membuat aliran turbulen dengan tenaga penggerak motor dimana bak pengaduk dilengkapi dengan peralatan mekanis.

- a. Paddle dengan putaran 2 – 150 rpm.
- b. Turbine dengan putaran 10 – 150 rpm.
- c. Propeller dengan putaran 150 – 1500 rpm.



Gambar 2.3 Jenis-jenis Impeller

(**Sumber** : McGrow Hill, *Water Resources and Environmental Engineering Third edition, 1998,hal 204*)

Kriteria Perencanaan

- Waktu detensi (Td) = 20 – 60 detik (bak netralisasi)
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 /detikDiameter *Paddle* (Di) = 30 – 80 % dari Diameter bak
- Lebar *Paddle* (Wi) = 1/6 – 1/10 Diameter *paddle*
- Kecepatan putaran *Paddle* (n) = 20 – 150 rpm
- Kedalaman bak (H) = 1-1.25 D/W
- *Reynold number*(RNe) = >10000
- Kecepatan pipa *Outlet* (v) = 1 – 1.25 m/s

(**Sumber** : (Reynolds & Richards, 1996) *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition*. PWS Publishing Company. Halaman 182 -187)

- pH = 6 – 9
- Konsentrasi/kadar larutan maksimum = 20%

(**Sumber** : SNI 6774:2008 tentang Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air)

Rumus

- Dosis Ca(OH)₂
 $pOH = -\log(OH^-)$
 $pOH = -\log\left(\frac{gram}{v} \times \frac{1}{Mr}\right) \times b$
- Kebutuhan Ca(OH)₂ = DO x Q

- Volume Ca(OH)₂ = $\frac{\text{kebutuhan } ca(oh)_2}{\rho_{ca(oh)_2}} \times \text{waktu detensi}$
- Kebutuhan air untuk pelarut

$$V_{\text{pelarut}} = \frac{100\% - \text{kadar } ca(oh)_2 \text{ dalam larutan}}{\text{kadar } ca(oh)_2 \text{ dalam larutan}} \times v_{ca(oh)_2}$$
- Volume Larutan Ca(OH)₂ = $V_{\text{VolumeCa(OH)}_2} + V_{\text{Volumeair}}$
- Dimensi tangki kimia

$$V = \frac{1}{4} \times \mu \times D^2 \times 1.25D$$
- Debit yang masuk ke bak netralisasi

$$Q = \frac{VOLUME \ TANGKI \ PEMBUATAN \ LARUTAN}{T_d \ \text{pembuatan larutan}}$$
- Supply tenaga air

$$P = G \times \mu \times V$$
- Diameter *paddle impeller*

$$D_i = \left(\frac{P}{K_c \times n^3 \times \rho_{air}} \right)^{\frac{1}{5}}$$
- Jarak impeller dari dasar tangka = diameter *paddle impeller*
- Lebar *paddle impeller*

$$W_i/D_i = 1/4$$
- Cek nilai *Reynolds*

$$N_{re} = \frac{D_i^2 \times n \times \rho_{air}}{\mu}$$
- Volume bak netralisasi

$$V = Q \times t_d$$

2.2.6 Bak Pengendap I

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan (*solid-liquid*) dengan menggunakan gaya gravitasi untuk mengendapkan partikel suspensi. Bak Sedimentasi bertujuan untuk mengurangi kekeruhan dan kontaminan kontaminan air yang telah bergabung dalam flok-flok yang dihasilkan pada proses flokulasi.

Sedimentasi dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi dimanatujuannya adalah untuk memperbesar partikel padatan sehingga menjadi lebih berat dan dapat tenggelam dalam waktu lebih singkat.

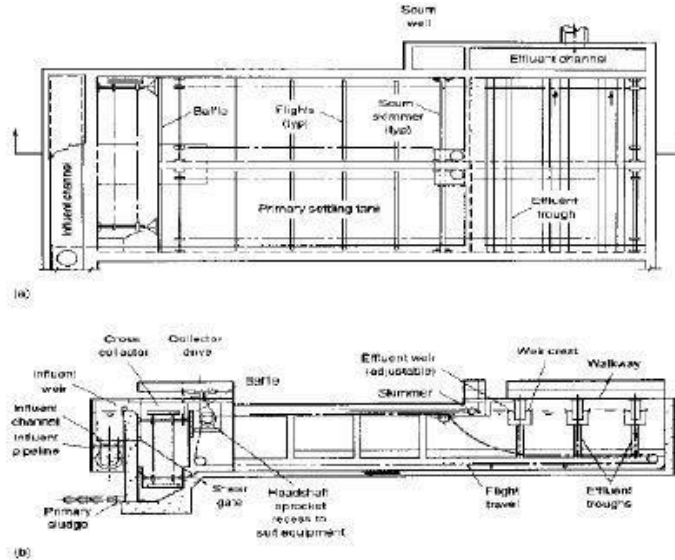
Sedimentasi bisa dilakukan pada awal maupun pada akhir dari unit sistim pengolahan. Jika kekeruhan dari *influent* tinggi, sebaiknya dilakukan proses sedimentasi awal (*primary sedimentation*) didahului dengan koagulasi dan flokulasi, dengan demikian akan mengurangi beban pada *treatment* berikutnya. Sedangkan *secondary sedimentation* yang terletak pada akhir *treatment* gunanya untuk memisahkan dan mengumpulkan lumpur dari proses sebelumnya (*activated sludge, oxidation ditch, trickling filter*, dan lain-lain) dimana lumpur yang terkumpul tersebut dipompakan ke unit pengolahan lumpur tersendiri, proses ini dilakukan setelah air dan pengotor terpisah.

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

1. Aliran air
2. Suhu udara permukaan
3. Suhu air yang mempengaruhi kekentalan zat
4. Suhu terstratifikasi dari iklim
5. Bilangan Eddy

Desain dari bak pengendap 1 sendiri memiliki beberapa jenis, yaitu:

1. *Rectangular*

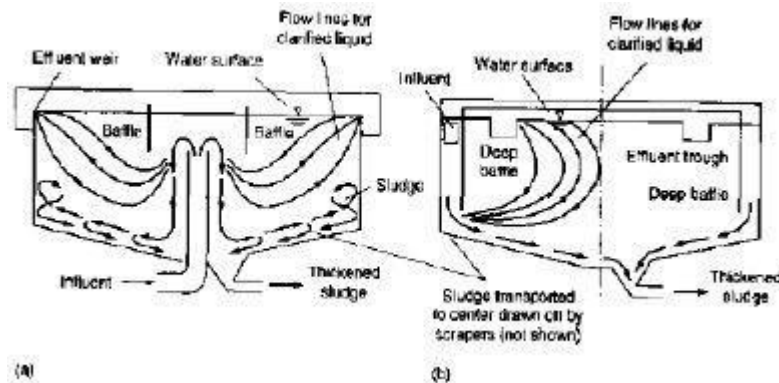


Gambar 2. 4 Bak Pengendap Rectangular (a) Denah (b) Potongan
(*Sumber Metcalf & Eddy. 2003*)

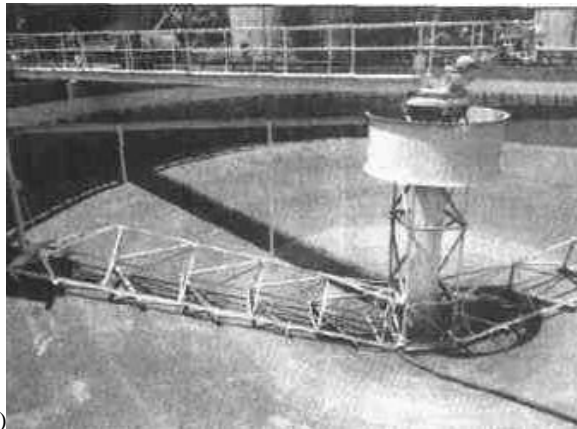
Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

- a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan
- b. Saluran inlet dengan port dan orifice
- c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan *slotted baffles*

2. *Circular*



Gambar 2. 5 Bak Pengendap Circular
(*Sumber Metcalf & Eddy. 2003*)



Gambar 2. 6 Bak Pengendap Circular
(Sumber Metcalf & Eddy, 2003)

Pada tangki *circular* pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15 - 20% dari diameter total tangki dan range dari 1 - 2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah *Surface Loading* (Beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria Perencanaan

- Bak sedimentasi berbentuk circular
- Kedalaman (H) = 3 - 4,9 m
- Diameter (d) = 3– 60 m
- Slope dasar = 1/16 – 1/6 mm/mm
- *Flight speed* = 0,02 – 0,05 m/menit
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Waktu detensi (td) = 1,5– 2,5 jam

- *Over flow rate*
 - Rata rata = 30 – 50 m³/m².hari
 - Jam puncak = 80 – 120 m³/m².hari
- *Wier loading* = 125 – 500 m³/m².hari
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak
- Kecepatan aliran menuju inlet well = 0,3 – 0,75 m/s
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Konsentrasi solid = 4% - 12%
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Suhu = 30° C
- Viskositas kinematis (ν) = 0,8039 x 10⁻⁶ m²/s
- Viskositas absolute (μ) = 0,798 x 10⁻³ N.detik/m²
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Massa jenis air (ρ) = 997 kg/m³
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Specific gravity solid (Ss) = 1,4
- Specific gravity sludge = 1,02
(Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus

- $A = \frac{Q}{SLR}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $OFR = \frac{Q}{A}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $dp = \sqrt{\frac{vs \times 18 \times v}{g(sg-1)}}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $NRe = \sqrt{\frac{\rho s \times dp \times vs}{\mu}}$
(Reynolds, *et al.*. 1996)

- $Vh = \frac{Q}{\pi \times D \times H}$
(Reynolds, *et al.*, 1996)
- $Vs = \frac{H}{td}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $vs = \sqrt{\frac{8k(s-1) \times g \times d}{f}}$
(Qasim, 1999)
- $n = \frac{L \text{ wier}}{\text{jarak antar wier}}$
- $Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$
(Qasim, 1999)

2.2.7 Activated Sludge

Pengolahan *activated sludge* atau lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon). *Activated sludge* bertujuan untuk menghilangkan beban organik seperti COD, ammonia, fenol dengan bantuan bakteri dan mikroba sebagai pengurai. Bakteri dan mikroba ditumbuhkan dalam kondisi aerobik dan dapat berkembang secara bebas. Tipe-tipe proses *activated sludge* yaitu sebagai berikut:

a. Konvensional

Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, *secondary clarifier* dan *recycle sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi dan oksidasi bahan organik.

b. Non-konvensional

- *Step Aeration*

Step aeration merupakan tipe plug flow dengan perbandingan F/M atau subtrat dan mikroorganisme menurun menuju outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3-4 titik di tangki aerasi dengan maksud untuk menetralkan rasio subtrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek.

- *Tapered Aeration*

Tapered aeration Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.

- *Contact Stabilization*

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:

1. *Contact tank* yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
2. *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

- *Pure Oxygen*

Pure oxygen diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan td pendek.

- *High Rate Aeration*

Kondisi ini tercapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1-5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar.

- *Extended Aeration*

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan time detention (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit.

Kriteria Perencanaan

- a. Menggunakan *mechanical surface aerator*
- b. Umur lumpur (θ_c) = 4 – 10 hari
- c. Ratio F/M = 0,1 – 0,6 hari
(Sperling, 2007)
- d. MLSS (X) = 2000 – 4000 mg/l
- e. Kedalaman (H) = 4,5 – 7,5 m
(Metcalf & Eddy, 2003)
- f. Freeboard bak = 30 – 60%
(Metcalf & Eddy, 2003)
- g. MLVSS (X_v) = 1500 – 3500 mg/l
- h. Ratio MLSS/MLVSS = 0,70 – 0,85
(Sperling, 2007)

- i. Rasio Resirkulasi (Q_r/Q) = 0,25 – 2
(Metcalf & Eddy, 2003)
- j. Temperature activity coefficient (Θ) activated sludge = 1,02 – 1,25
(Metcalf & Eddy, 2003)
- k. Safety factor = 1,75 – 2,5 (karena mengandung ammonia)
(Metcalf & Eddy, 2003)
- l. Perode aerasi (td) = 6 – 8 jam
- m. Jumlah mikroorganisme (S_a) = 2500 – 3500 ppm
- n. Jumlah mikroorganisme Resirkulasi (S_r) = 8000 – 10000 ppm
(Metcalf & Eddy, 1991)
- o. Nilai koefisien :
 - Rata – rata penggunaan substrat (k) = 2 – 10/hari
 - Konsentrasi substrat (K_s) = 25 – 150 mg/liter.BOD
 - Koefisien Endogeneous (K_d) = 0,025 – 0,075 hari
(Reynolds, *et al.*. 1996)

Rumus

- R

$$R = \frac{S_a}{S_r - S_a}$$

- Debit resirkulasi

$$Q_r = Q_o \times R$$

- Debit yang masuk ke bak *activated sludge*

$$Q_{in} = Q_o + Q_r$$

- Konsentrasi BOD dalam bak (C_a)

$$C_a = \frac{(S_o \times Q_o) + (S_e \times Q_r)}{Q_o + Q_r}$$

- Waktu detensi (td) bak *activated sludge*

$$f/m = \frac{C_a}{\theta \times X}$$

- Volume bak *activated sludge*

$$V = \frac{Q_{in} \cdot \theta_c \cdot Y (C_a - C_r)}{x(1 + k_d \cdot \theta_c)}$$

- Dimensi bak *activated sludge*

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

$$H_{total} = H + (H \times 20\%)$$

- Jari-jari hidrolis

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

- Slope

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

- Headloss (Hf)

$$Hf = S \times P$$

- $\gamma_{observed}$

$$\gamma_{obs} = \frac{\gamma}{1 + (k_d \cdot \theta_c)}$$

(Metcalf & Eddy, 2003)

- Pertumbuhan MLVSS (Px)

$$P_x = \gamma_{obs} \cdot Q_{in} (C_a - C_r)$$

- Debit lumpur

$$Q_w = \frac{P_x}{x}$$

- Kontrol F/M ratio

$$F/M = \frac{Q_{in} \times C_a}{Vol \times x}$$

- Kebutuhan oksigen

$$\text{Jumlah beban } BOD_L = \frac{Q_{in} \times (C_a - C_r)}{f}$$

$$\text{Kebutuhan } O_2 \text{ total} = \text{Jumlah beban } BOD_L - (1,42 \times P_x)$$

- Volume udara yang dibutuhkan

- Kebutuhan udara teoritis

$$\text{Keb. udara teoritis} = \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ total}}{\rho_{udara} \times x \% O_2}$$

- Kebutuhan udara actual

$$\text{Keb. udara actual} = \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ teoritis}}{\text{efisiensi transfer } O_2}$$

- Transfer O₂ di lapangan
 - N = kg O₂/Kw.jam transfer di bawah kondisi lapangan
 - N_o = kg O₂/Kw.jam transfer di bawah kondisi standar (20°C)
(Nilai N_o = 1,5)
 - β = Faktor koreksi *salinity surface* = 1
 - C_w = Konsentrasi O₂ jenuh = 8,16 mg/L
 - C₁ = Konsentrasi O₂ operasi = 2 mg/L
 - T = Temperatur °C
 - α = Faktor koreksi O₂ transfer = 0,8 – 0,85

$$N = N_o \left[\frac{\beta \times C_w \times C_1}{9,17} \right] \times 1,024^{30-20} \times 0,8$$

- Tenaga aerator

$$P = \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ total}}{N}$$

- Jumlah *surface aerator*

$$\text{Jumlah surface aerator} = \frac{\text{Kebutuhan } O_2 \text{ total}}{\text{transfer } O_2 \text{ aerator}}$$

- Dimensi pipa inlet dan outlet

- Luas permukaan pipa

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

- Diameter

$$D = \left[\frac{4A}{\pi} \right]^{1/2}$$

- Dimensi pipa resirkulasi

- Luas permukaan pipa resirkulasi

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

- Diameter pipa resirkulasi

$$D = \left[\frac{4A}{\pi} \right]^{1/2}$$

2.2.8 Bak Pengendap II

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

Bangunan *clarifier* digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada pengolahan bangunan *clarifier* biasanya terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk *vee (V)*. Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing-masing *vee* dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tegah bagian bawah *clarifier*. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Kriteria Perencanaan

- Kedalaman bangunan = *circular* = 3 - 4,9 m
= *Rectangular* = 3 - 4,9 m
- Diameter tangki = 3 - 60 m
- Diameter inlet = 15 - 20% dari diameter bak
- Kedalaman inlet wall = 25 - 50% diameter bak
- Kecepatan inlet wall = 0,3 - 0,75 m/detik
(Metcalf & Eddy, 2003)
- MLSS = 1500 - 10000 mg/l
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Persen removal TSS = 50 - 70%
- Kecepatan aliran inlet (*vp*) = 0,3 m/detik
- Waktu Detensi (*Td*) = 1,5 - 2,5 jam
(Metcalf & Eddy, 2003)

- *Overflow rate*
Average = 30 – 50 m³/m².hari
Peak = 80 – 120 m³/m².hari
- *Weir loading* = 125 – 500 m³/m².hari
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Massa jenis air (ρ), T = 30°C = 0,99568 g/cm³ = 996 kg/m³
- Viskositas kinematik (ν) = 0,8039 x 10⁻⁶ m²/s
- Viskositas dinamik (μ) = 0,8004 x 10⁻³ N s/m²
(Reynolds, *et al.*, 1996)
- Specific gravity solid (S_s) = 1,4
- Specific gravity sludge = 1,02
(Metcalf & Eddy, 2003)
- Bilangan Reynold (N_{re}) = < 2000 (aliran laminar)
- N_{re} partikel = < 0,5
- Bilangan Froude (N_{fr}) = > 10⁻⁵
(SNI 6774, 2008)

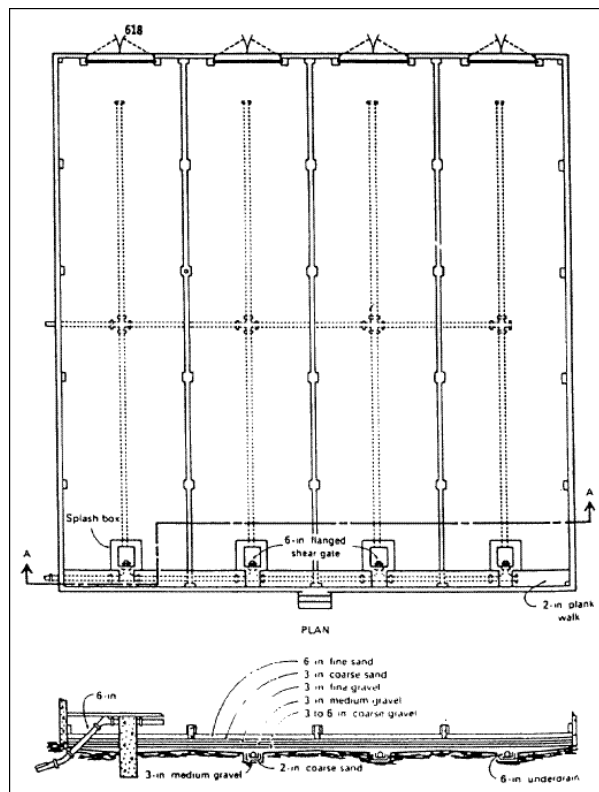
Rumus

- $A = \frac{Q}{SLR}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $OFR = \frac{Q}{A}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $dp = \sqrt{\frac{vs \times 18 \times v}{g(sg-1)}}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $NRe = \sqrt{\frac{\rho s \times dp \times vs}{\mu}}$
(Reynolds, *et al.*, 1996)
- $Vh = \frac{Q}{\pi \times D \times H}$
(Reynolds, *et al.*, 1996)

- $V_s = \frac{H}{td}$
(Metcalf & Eddy, 2003)
- $v_s = \sqrt{\frac{8k(s-1) \times g \times d}{f}}$
(Qasim, 1999)
- $n = \frac{L \text{ wier}}{\text{jarak antar wier}}$
- $Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$
(Qasim, 1999)

2.2.9 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. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.



Gambar 2. 7 Sludge Drying Bed

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, halaman 157

Kriteria Desain

- a. Tebal sludge cake = 200 – 300 mm
(Metcalf & Eddy, 2003)
- b. Tebal lapisan media:
 - 150 mm pasir halus
 - 75 mm pasir kasar
 - 75 mm kerikil halus
 - 75 mm kerikil sedang

- 75-150 mm kerikil kasar
- c. Kecepatan minimum pipa lumpur = 0,75 m/detik
(Metcalf & Eddy, 2003)
- d. Freeboard = 5 – 30%
- e. Waktu pengeringan = 10 – 15 hari
- f. Kadar solid = 60%
- g. Kadar air (P) = 40% (sisa dari kadar solid 100%)
- h. Berat air dalam cake (pi) = 20 – 50%
(Metcalf & Eddy, 2003)
- i. Lebar bed = 5 – 8 m
- j. Panjang bed = 6 – 30 m
(Sumber: Qasim, 1985)

2.3 Persen Removal

Tabel 2. 1 Tabel Persen Removal Unit Pengolahan Limbah Industri rokok

Unit	Parameter Tersisih	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
Bar Screen	Zat Padat Kasar	50 - 70%	Metcalf and Eddy, WasteWater Engineering Treatment and Reuse 4th, 2003
Bak Penampung	Partikel Diskrit	40%-70%	Metcalf & Eddy, Inc. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th ed.). McGraw-Hill.
Grease Trap	Minyak dan Lemak	95%	Sakinah, D. S.; Purwanti, I. F.; 2018; Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan Skala Rumah Tangga; Jurnal Teknik ITS; 1; D12-D17
Bak Pengendap I	TSS	50-70%	Metcalf and Eddy, WasteWater Engineering Treatment and Reuse 4th, 2003, Halaman 396
	BOD	25-40%	
Netralisasi	Ph	6 - 9	Eckenfelder, Industrial Water Pollution Control, 2nd Edition, tahun 2000 hal 48
Activated Sludge	BOD	80-99%	Vincent Cavaseno, Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering, 1987, Halaman 15
	COD	50-95%	
	Fenol	95-99%	

	Amonia	33 - 99%	
Bak Pengendap 2	TSS	90%	Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse 4 th , 2003, Halaman 497

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis "*hydraulic grade line*" dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :
 - a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
 - b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
 - c. Kehilangan tekanan pada pompa
 - d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
3. Tinggi Muka Air Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan.

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

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