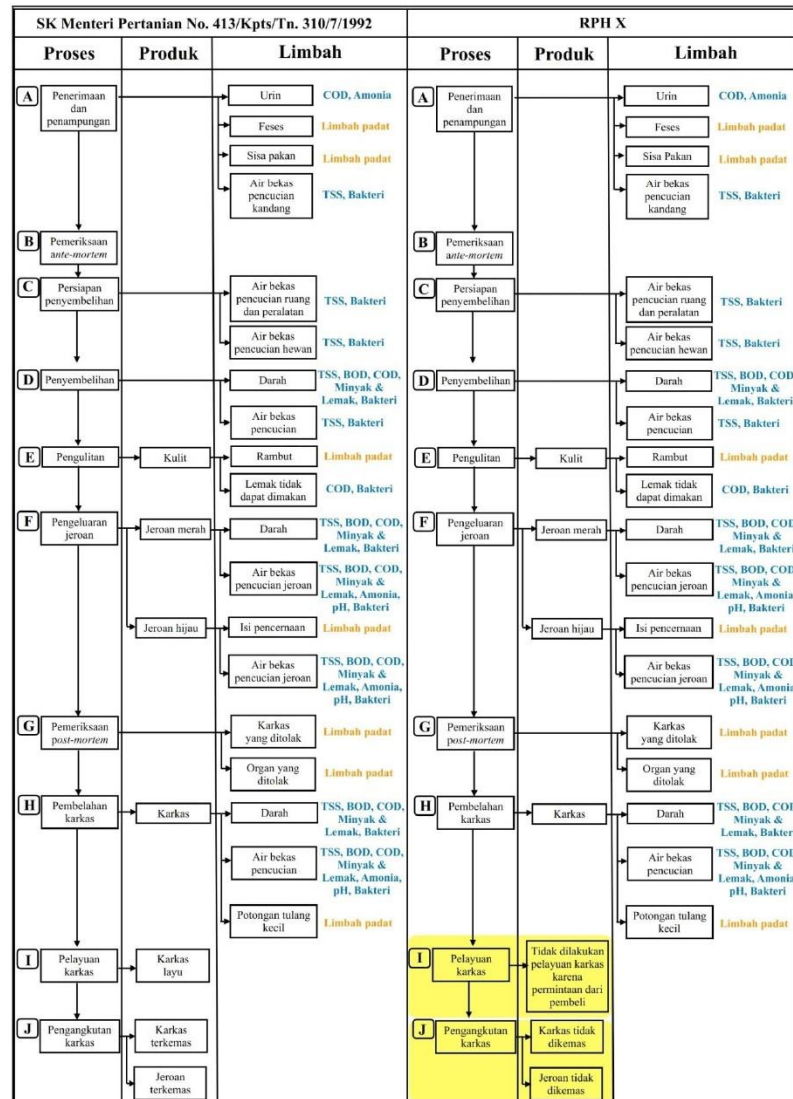


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri RPH

Kegiatan produksi di Rumah Potong Hewan (RPH) menghasilkan produk samping berupa buangan air limbah RPH. Jenis air limbah RPH ini berupa limbah organik *biodegradable* yang terdiri dari darah, sisa-sisa pencernaan, urin, dan zat pencemar lainnya yang dihasilkan dari proses pencucian (Budiyono *et al.*, 2011). Akan dan Mohmoud (2010) dalam Lubis (2018) melaporkan bahwa parameter fisika, kimia, dan biologi air limbah RPH melebihi peraturan yang berlaku sehingga berbahaya bagi lingkungan, kehidupan akuatik, dan kesehatan manusia. Air limbah RPH jika mencemari perairan dapat menjadi media pertumbuhan dan perkembangan mikroba sehingga menyebabkan terjadinya pemanfaatan oksigen terlarut di dalam air. Pemanfaatan oksigen terlarut yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya degradasi kualitas air. Selain itu, aktivitas mikroba dalam proses pembusukan limbah organik di dalam air mengakibatkan terjadinya peningkatan konsentrasi Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), hidrogen sulfida (H_2S), perubahan pH, dan menimbulkan bau busuk seperti bau urea dan belerang (Widya *et al.*, 2008 dalam Lubis (2018). Berikut ini pada Gambar 2.1 merupakan diagram alir proses pemotongan sapi pada RPH X yang bersumber dari penelitian yang dilakukan Lubis, dkk (2018).

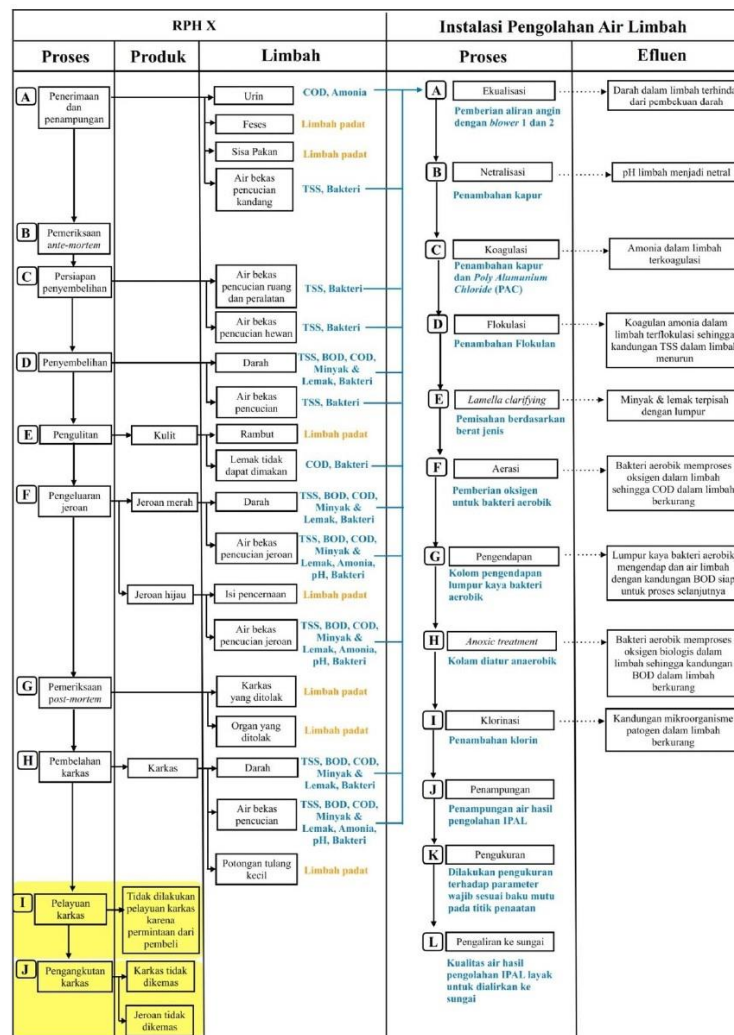


Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pemotongan Sapi di RPH X

(Sumber : Lubis, 2018)

Menurut Lubis (2018), secara umum air limbah RPH X terdiri atas urin, darah, lemak, dan air bekas pencucian. Secara lebih lengkap, air limbah RPH X terdiri atas urin dan air bekas pencucian kandang yang dihasilkan dari proses penerimaan dan penampungan; air bekas pencucian ruang, peralatan, dan hewan yang dihasilkan dari proses persiapan penyembelihan; darah dan air bekas pencucian yang dihasilkan dari proses penyembelihan; lemak yang tidak dapat dimakan yang dihasilkan dari proses pengulitan; darah dan air bekas pencucian jeroan yang dihasilkan dari proses pengeluaran jeroan; serta darah dan air bekas pencucian yang dihasilkan dari proses pembelahan karkas. Secara umum, proses

pengolahan air limbah RPH X terdiri atas ekualisasi, netralisasi, koagulasi, flokulasi, *lamella clarifying*, aerasi, pengendapan, *anoxic treatment*, klorinasi, penampungan, pengukuran, dan pengaliran ke Sungai Cisadane. Berikut ini pada Gambar 2.2 merupakan proses pengolahan air limbah pada RPH X.



Gambar 2.2 Diagram Alir Pengolahan Limbah di IPAL RPH X

(Sumber : Lubis, 2018)

2.2 Karakteristik Air Limbah RPH

Air limbah merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah buangan yang dihasilkan dari proses produksi suatu industri, domestik (rumah tangga), perdagangan, air tanah, air permukaan dan air buangan lainnya yang berdampak

pada lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Metcalf & Eddy et al., 2007). Dalam Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan kegiatan manusia. Limbah berbeda dengan sampah, sampah cenderung banyak ditemui dari hasil buangan kegiatan manusia sehari-hari atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan limbah berasal dari kegiatan manusia secara individu maupun kelompok, seperti pada kegiatan industri yang menghasilkan sisa buangan pada proses produksi (pengolahan bahan baku menjadi produk).

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014, terdapat 6 (enam) parameter utama limbah industri rumah pemotongan hewan yang perlu diolah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, $\text{NH}_3\text{-N}$ dan pH. Keenam parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan terkait dengan keenam karakteristik limbah cair rumah pemotongan hewan sebagai berikut:

2.1.1 Karakteristik yang Terkandung pada Air Limbah

Sifat karakteristik limbah tidak lepas dari kandungan zat dan proses dimana ia berasal, beberapa parameter kimia ditetapkan sebagai indikator untuk mengetahui komponen polutan dalam limbah yang dapat mengakibatkan pencemaran, Sebagian besar limbah cair rumah pemotongan hewan meliputi:

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Kegiatan Rumah Potong Hewan (RPH) zat yang dapat menyebabkan pencemaran air adalah sisa buangan yang mengandung zat pencemar yang sebagian besar berasal dari rumen. Zat tersebut mengandung pencemar yang dapat membahayakan organisme di perairan karena mengandung *Biological Oxygen Demand (BOD)*. BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh populasi mikroorganisme yang berada dalam kondisi aerob untuk menstabilkan materi organik (Qasyim,1985 dalam Kriswandana, 2018). BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh

aktivitas mikroba. Definisi lain BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram/liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih Kembali (Sugiharto, 1987).

BOD merupakan uji pengukuran karbon organik yang dapat didegradasi atau disisihkan secara biologis dalam kondisi tertentu. Pengukuran BOD menunjukkan bahwa oksigen yang dibutuhkan atau dikonsumsi oleh mikrobiologi sel untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah untuk respirasi bakteri dalam air limbah. (W. Eckenfelder, 2000) Jika tersedia cukup oksigen dalam air limbah maka dekomposisi kandungan organik dalam air limbah dapat berlanjut dan kandungan dalam air limbah dapat didegradasi oleh sel mikroba secara aerobik. Beberapa zat dalam air limbah dikonversi menjadi sel baru dengan menggunakan sebagian energi yang dihasilkan selama oksidasi, ketika kandungan organik sudah habis. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran air limbah dan digunakan untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis. (Metcalf and Eddy, 2003). Karakteristik limbah cair RPH yang mengandung kadar BOD yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi oleh bakteri pada proses pembentukan biogas kotoran sapi (Indrawati, 2018)

Baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2104 adalah 100 mg/L (PermenLHK 5, 2014).

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air, sehingga parameter COD mencerminkan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia. (MetCalf & Eddy, 2003). COD merupakan pengukuran total karbon organik dengan pengecualian terhadap senyawa aromatik seperti benzena, dimana senyawa tersebut tidak teroksidasi sama sekali pada reaksi COD. Uji COD merupakan reaksi kimia oksidasi dan reduksi, sehingga kandungan dalam air limbah dapat berkurang seperti sulfida, sulfit, logam besi dinyatakan sebagai angka COD yang menunjukkan kebutuhan

oksigen untuk mengoksidasi kandungan zat pencemar air limbah yang dapat teroksidasi secara kimia, hal ini menunjukkan adanya beberapa kandungan zat kimia dalam air limbah. (W. Eckenfelder, 2000).

COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar senyawa organik yang ada dalam air limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Limbah organik akan dioksidasi oleh kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai sumber oksigen menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion krom. Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik (Praja, 2017). Konsentrasi COD yang tinggi pada air limbah RPH disebabkan tingginya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan seluruh kandungan bahan organik dan anorganik dalam sampel air limbah. Konsentrasi COD yang tinggi pada air limbah jika dialirkan ke badan air akan melebihi kemampuan asimilasi di dalam aliran air sehingga bakteri akan tumbuh dengan cepat dan mengonsumsi semua oksigen terlarut dan akibatnya akan tercipta kondisi anaerobik yang akan membahayakan pertumbuhan dan perkembangan biota air (Aini *et al.*, 2017).

Standar baku mutu COD dalam kegiatan rumah pemotongan hewan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

- *Total Suspended Solid (TSS)*

Limbah pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. TSS dapat didefinisikan sebagai padatan dalam air yang terperangkap oleh filter. Untuk mengukur TSS sampel air disaring melalui filter pra – ditimbang, residu yang ditahan pada filter dikeringkan dalam oven pada suhu $103 - 105^\circ C$ sampai berat filter tidak lagi berubah, dimana pori – pori kertas saring memiliki ukuran sekitar $1,58 \mu m$. TSS merupakan parameter universal yang digunakan untuk standar effluent (bersama dengan BOD) yang mana hasil dari pengolahan digunakan untuk proses pengontrolan (Metcalf & Eddy, 2003).

TSS adalah zat-zat padat yang berada pada dalam suspensi, dapat dibedakan menurut ukurannya sebagai partikel tersuspensi koloid (partikel koloid) dan partikel tersuspensi biasa (partikel tersuspensi). Jenis partikel koloid tersebut adalah penyebab kekeruhan dalam air (efek *tyndall*) yang disebabkan oleh penyimpanan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual, sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul tidak pernah keruh. Larutan menjadi keruh bila terjadi pengendapan (presipitasi) yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia. Partikel-partikel tersuspensi biasa, mempunyai ukuran lebih besar dari partikel koloid dan dapat menghalangi sinar yang akan menembus suspensi, sehingga suspensi tidak dapat dikatakan keruh, karena sebenarnya air di antara partikel-partikel tersuspensi tidak keruh dan sinar tidak menyimpang (Alaerts dan Santika, 1987). Kandungan TSS yang tinggi pada limbah rumah potong hewan disebabkan dari isi rumen, kotoran hewan, sisa lemak dan darah, serta dampaknya yaitu cahaya matahari sulit masuk ke dalam air, sehingga tanaman dibawah air akan mengalami penurunan tingkat proses fisiologis seperti fotosintesis respirasi pada organisme akuatik. Apabila kemampuan fotosintesis menurun akan menyebabkan kematian dan pembusukan di dalam air lebih banyak (Sari *et al*, 2018 dalam Ramadhanti, 2020).

Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi adalah segala macam zat padat dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimal 2,0 μm dan dapat mengendap. Berdasarkan Alerts (1987) dalam Praja (2017) tingginya nilai TSS dapat menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air, hal ini akan mengganggu proses fotosintesis yang akan menyebabkan turunnya kandungan oksigen terlarut yang dilepas ke dalam air oleh tanaman. TSS tinggi juga akan menyebabkan penurunan kejernihan pada air.

Baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS pada kegiatan rumah pemotongan hewan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 adalah 100 mg/L (PermenLHK 5, 2014).

- Minyak dan Lemak

Minyak / Lemak merupakan zat yang sulit larut dalam air, lemak dapat berwujud solid maupun semi – solid pada suhu tertentu serta memiliki massa jenis yang lebih ringan daripada air, sedangkan minyak dalam bentuk cair, zat ini memiliki komponen rantai hidrokarbon dengan struktur kimia yang panjang, beberapa membentuk ikatan ion pada ujung rantai hidrokarbon, misalnya – COOH. Struktur zat ini membentuk lapisan pada permukaan air yang sulit larut dalam air atau berwujud emulsi. Satu liter minyak dapat mengkontaminasi satu juta liter air, polutan minyak dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem lingkungan pada air, minyak tersebut akan menutupi permukaan perairan dengan membentuk lapisan tipis dan menutupi cahaya matahari ke dalam perairan sehingga kadar oksigen dalam perairan akan berkurang, hal ini disebabkan karena alga maupun fitoplankton yang berada dalam perairan tidak dapat melakukan proses fotosintesis sebagaimana mestinya. Lemak dan minyak merupakan komponen utama bahan makanan yang juga banyak didapatkan di dalam air limbah. Lemak dan minyak membentuk ester dan alkohol atau gliserol dengan asam lemak. Gliserid dari asam lemak ini berupa cairan pada keadaan biasa dikenal sebagai minyak dan apabila dalam bentuk padat dan kental sebagai lemak. Lemak tergolong pada benda organik yang tetap dan tidak mudah untuk diuraikan oleh bakteri. Sebagai petunjuk dalam mengelola air limbah, maka efek buruk yang dapat menimbulkan permasalahan pada dua hal yaitu pada saluran air limbah dan pada bangunan pengolahan. Apabila lemak tidak dihilangkan sebelum dibuang ke saluran air limbah dapat mempengaruhi kehidupan yang ada dipermukaan air, dan menimbulkan lapisan tipis di permukaan, sehingga membentuk selamut. Kadar lemak sebesar 15-20 mg/L merupakan batas yang bisa ditolerir apabila lemak ini berada di dalam air limbah (Sugiharto, 1987).

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan dari lemak 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).

Permasalahan-permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh kehadiran minyak dan lemak dalam limbah industri menurut Terrence P. Driscoll and Friends, 2008 antara lain :

1. Tersumbatnya saluran pembawa.
2. Timbulnya padatan lemak pada stasiun pemompaan sumur pengumpul yang berpotensi merusak pompa.
3. Timbulnya konsentrasi minyak dan lemak pada bak pengendapan yang berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses berikutnya.
4. Menurunnya performa pengolahan biologis akibat kehadiran minyak dan lemak pada limbah.
5. Sukarnya pepadatan dan pengurangan kandungan air pada proses *biosolid*.

Standar baku mutu minyak dan lemak dalam industri RPH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 15 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 (PermenLHK 5, 2014).

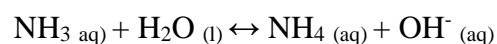
- Amonia - Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Amonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) adalah ukuran yang biasa digunakan untuk menguji jumlah ion ammonium yang diturunkan secara alami dari amonia, dan dikembalikan ke amonia melalui proses organik, dalam air atau cairan limbah. Ini adalah ukuran yang digunakan terutama untuk mengukur nilai dalam pengolahan limbah dan sistem pemurnian air, serta ukuran kesehatan cadangan air alami dan buatan. Hal ini diukur dalam satuan mg/L (milligram per liter). Secara alami senyawa amonia di perairan juga dapat berasal dari hasil metabolisme hewan dan hasil proses dekomposisi bahan organik oleh bakteri atau

sampah organik seperti sampah rumah tangga dan lain-lain oleh bakteri yang terbawa arus. Menurut Effendi, 2003 dalam Hamuna et al., 2018 bahwa sumber amonia di perairan juga merupakan hasil pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat dalam air. Meningkatnya kadar amonia di perairan berkaitan erat dengan masuknya bahan organik yang mudah terurai (baik yang mengandung unsur nitrogen maupun tidak mengandung unsur nitrogen).

Tingginya konsentrasi amonia pada air limbah RPH ditandai dengan bau yang menyengat disebabkan adanya campuran dari nitrogen, sulfur, dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang terkandung dalam air limbah. Timbulnya bau pada air limbah menandakan telah terjadi proses alamiah bahwa air limbah telah mengalami pembusukan karena tingginya bahan organik yang terkandung didalamnya. Dengan adanya bau tersebut akan lebih mudah mendeteksi adanya bahaya sehingga lebih mudah menghindari tingkat bahaya yang ditimbulkan (Suarni *et al.*, 2021). Kandungan amonia pada air limbah RPH diduga berasal dari kotoran isi rumen dan juga feses (Sari *et al.*, 2018 dalam Ramadhanti, 2020).

Amonia yang merupakan salah satu dari kandungan pada air limbah RPH termasuk gas alkalin yang tidak berwarna dan mempunyai bau khas yang tajam. Adanya amonia yang dihasilkan dari dekomposisi protein dapat bersifat toksik dalam perairan karena berkontribusi terhadap terjadinya proses *eutrofikasi* yang secara perlahan dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut pada air, terganggunya proses respirasi biota, bahkan dapat menyebabkan kematian (Wahyuni, Suyasa, & Mahardika, 2015). Dalam aliran limbah, ion amonium berada dalam kesetimbangan dengan amonia.



NH₃-N secara alami ditemukan sebagai gas tidak berwarna. Namun gas amonia (NH₃) dengan konsentrasi tertentu dapat larut dalam badan air tergantung pada suhu dan tekanan. Setelah dilarutkan dalam air, sebagian kecil amonia akan

terdisosiasi sedangkan sisanya tetap tidak terdisosiasi. Konsentrasi NH_4^+ dan NH_3 terlarut berada dalam kesetimbangan pada pH konstan

Standar baku mutu untuk parameter amonia pada industri RPH yaitu 25 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 (PermenLHK 5, 2014).

- *Potential of Hydrogen* (pH)

pH merupakan sebuah parameter kualitas yang penting bagi air baku dan juga air limbah. Ukuran konsentrasi pH yang cocok bagi semua kehidupan biologis bisa dibidang sangat kecil dan kritis yaitu diantara 6 hingga 9. Air limbah dengan pH yang sangat tinggi sulit untuk ditangani secara biologis, dan jika konsentrasi pH tidak dinetralkan sebelum proses pembuangan, hasil olahan limbah kemungkinan bisa merubah konsentrasi pH pada air baku, agar hasil pembuangan dapat ditangani sesuai dengan pH yang berlaku biasanya berukuran antara 6,5 hingga 8,5 (MetCalf & Eddy, 2003).

pH atau singkatan dari *Power of Hydrogen* adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen (H^+). Larutan dapat dikatakan sangat asam jika memiliki ion H^+ dengan konsentrasi tinggi dan bisa dikatakan sangat basa jika memiliki ion OH^- dengan konsentrasi tinggi. Skala pH berkisar 0 – 14 dengan nilai pH 7 dianggap sebagai nilai netral (Qasim, 1999). pH air sangat penting untuk reaksi kimia yang terjadi di dalam air, dan nilai pH yang terlalu tinggi atau rendah dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, nilai pH rendah digunakan sebagai dasar bahwa tingkat konsentrasi H^+ tinggi maka dikatakan sebagai asam, sedangkan nilai pH besar dikatakan basa karena memiliki konsentrasi OH^- yang tinggi. pH yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat membunuh sel makhluk hidup (Qasim, 1999).

Baku mutu yang mengatur besar pH yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 adalah 6,0 - 9,0 (PermenLHK 5, 2014)

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pre-treatment merupakan sebuah proses dan unit sebelum dilakukan *primary treatment*. Proses pengolahan ini merupakan proses pada awal pengolahan dan bersifat pengolahan fisik. Proses pengolahan yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Unit pengolahannya meliputi bar screen dan grit chamber.

2.3.1.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan 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).

- 1) Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaannya terpengaruh dengan udara luar (*atmosfer*). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.
- 2) Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaannya 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 yaitu aliran pada saluran terbuka.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi seandainya pada pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002).

Pada perancangan saluran pembawa perlu diketahui kriteria perencanaan dari saluran pembawa sebagai berikut.

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3 m/detik – 0,6 m/detik
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition. Halaman 316*)
2. *Free board* = 5% - 30%
(Sumber: Chow, Ven Te, 1959, *Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 159*)
3. 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*)

Untuk mengetahui dimensi saluran maka perlu diketahui kecepatan aliran air saat melewati saluran. Kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan dengan kecepatan air saat melewati *screen*. Maka rumus yang dapat digunakan sebagai berikut :

- Luas Permukaan Saluran

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

Dimensi saluran pembawa dengan bentuk persegi panjang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$A = W \times H$$

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

W = lebar saluran pembawa (m)

H = kedalaman saluran pembawa (m)

Untuk mengetahui kedalaman total saluran pembawa maka tinggi air ditambahkan dengan tinggi *freeboard* (5 – 30%). Saluran pembawa memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan air dari satu titik ke titik lainnya. Maka diperlukan *slope* (kemiringan) agar air dapat mengalir dan

dihitung *headloss* (kehilangan tekanan) yang terdapat pada saluran pembawa. Maka untuk mencari *slope* dan *headloss* sebuah saluran digunakan rumus sebagai berikut :

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar saluran (m)

H = ketinggian air (m)

- *Slope* (kemiringan)

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

atau

$$S = h \text{ statis} \times H_f$$

Keterangan :

s = *slope* / kemiringan (m/m)

n = koefisien manning

v = kecepatan aliran (m/s)

R = jari-jari hidrolis (m)

H_f = *Headloss* (m)

- Diameter pipa inlet

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

Keterangan :

D = diameter pipa (m)

A = luas permukaan saluran (m²)

- *Headloss* (kehilangan tekanan)

$$h_f = s \times L$$

Keterangan :

h_f = *headloss* / kehilangan tekanan (m)

s = *slope* / kemiringan (m/m)

L = panjang saluran (m)

atau

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,2784 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

Keterangan :

Q = debit limbah (m³/detik)

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C = koefisien kekasaran pipa

- Cek kecepatan aliran (v)

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

Keterangan :

Q = debit limbah (m³/detik)

A = luas penampang (m)

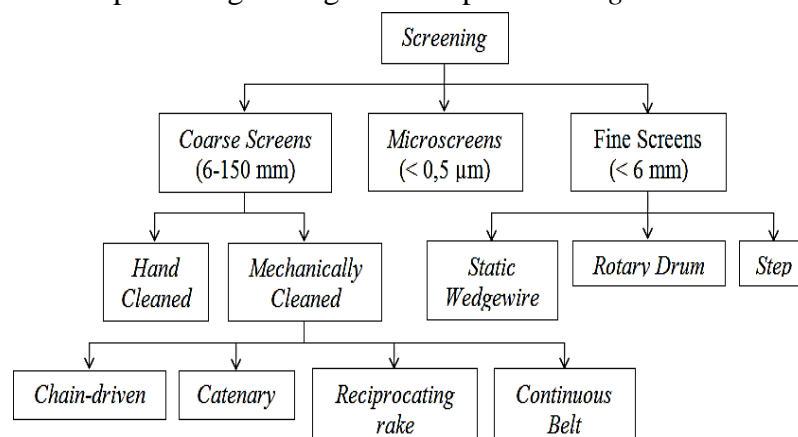
2.3.1.2 Bar Screen

Air limbah dari proses produksi dibawa oleh saluran pembawa menuju unit pengolahan, setelah itu dialirkan ke bak pengumpul atau bak ekualisasi. Aliran air yang berada pada saluran pembawa akan melewati unit *screen*. *Screening* biasanya terdiri-dari batang paralel, kawat atau *grating*, *perforated plate* dan umumnya memiliki bukaan yang berbentuk bulat atau persegi empat. Secara umum peralatan *screen* terbagi menjadi dua tipe yaitu screen kasar dan screen halus. Dan cara pembersihannya ada dua cara yaitu secara manual dan mekanis. Perbedaan screen kasar dan halus adalah pada jauh dekatnya jarak antar *bar screen*. (MetCalf & Eddy, 2003). Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0,3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60°

terhadap horizontal. (MetCalf & Eddy, 2003). Bar Screen atau bak penyaring merupakan unit pengolahan *pre-treatment* air limbah domestik yang diletakkan pada awal pengolahan. Unit operasi ini digunakan untuk menyisihkan material kasar seperti kotoran atau sampah yang ikut terbawa di dalam jaringan pipa subsistem pengumpulan. Prinsip kerja unit operasi ini yakni menghalangi material atau padatan berukuran besar masuk ke dalam pengolahan air limbah. Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari *screening* adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

- 1) Kerusakan pada alat pengolahan,
- 2) Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- 3) Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe *screen*, di antaranya *coarse screen*, *fine screen*, dan *microscreen*. *Screen* biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. *Screen* pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan *perforated plate* dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi (Metcalf dan Eddy, 2014). Berikut ini pada Gambar 2.3 merupakan bagian-bagian dari tipe *screening*.



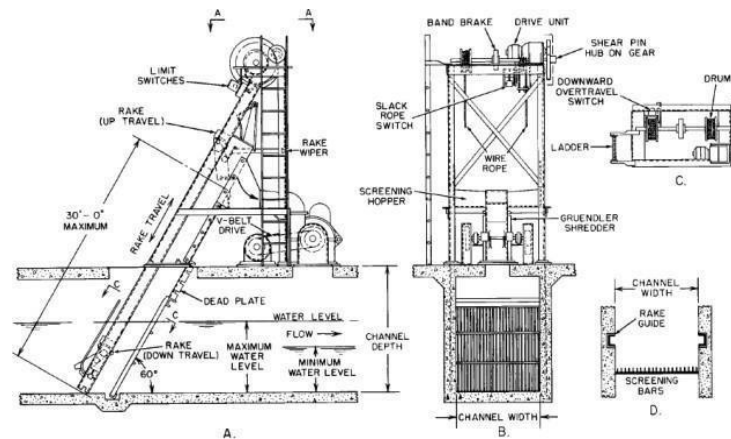
Gambar 2.3 Bagian Tipe *Screening*

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2003)

Berikut merupakan tipe-tipe dari *screening* :

a) *Coarse Screen* (Penyaringan Kasar)

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6- 150 mm (0,25- 6 inch). Dalam pengolahan air limbah, *screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, valve, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan akibat penyumbatan yang disebabkan oleh benda-benda tersebut. Menurut metode pembersihannya saringan kasar dibedakan menjadi 2, yaitu secara manual dan mekanik, dimana desain pembersihan secara manual dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan pembersihan secara mekanik menggunakan mesin. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada suatu industri yang kecil atau sedang. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0.3-0,6 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang. Bar *screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30°-45° terhadap horizontal. Berikut ini pada Gambar 2.4 menunjukkan bar *screen* manual.



Gambar 2.4 Bar *Screen* Manual

(Sumber : Qasim, 1999)

Berikut ini pada Gambar 2.5 menunjukkan pembersihan bar *screen* secara manual dan pada Gambar 2.6 menunjukkan pembersihan secara mekanik.



Gambar 2.5 Bar Screen Manual

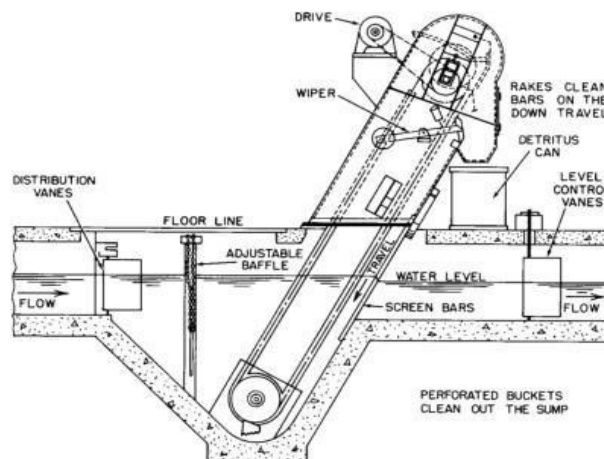


Gambar 2.6 Bar Screen Secara Mekanik

Pembersihan secara mekanik biasanya menggunakan bahan-bahan yang terbuat dari *stainless steel* dan plastik. Adapun tipenya adalah sebagai berikut:

- *Chain driven*
- *Riciprocating rake*
- *Catenary*
- *Continouse belt*

Berikut ini pada Gambar 2.7 menunjukkan *mechanical bar screen and grit collecteor*.



Gambar 2.7 *Mechanical Bar Screen and Grit Collector*

(Sumber : Qasim, 1990)

Adapun kriteria perancangan untuk mendesain *coarse screen* baik dengan membersihkan secara manual maupun mekanis seperti pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kriteria Perancangan Saringan Kasar (Coarse Screen)

Parameter	U.S Customary Units			SI Unit		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanikal	Unit	Manual	Mekanikal
Ukuran batang						
Lebar	Inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5 - 15	5 - 15
Kedalaman	Inch	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar Batang	Inch	1,0 - 2,0	0,6 - 0,3	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	O	30 - 45	0 - 30	mm	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maximal	ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimal	ft/s	-	1,0 - 1,6	m/s	-	0,3 - 0,5
Headloss	Inch	6		mm	150	150 - 600

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

b) Penyaring halus (*Fine Screen*)

Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya diaplikasikan dalam berbagai kondisi dalam pengolahan air buangan, di antaranya pada pengolahan awal (diaplikasikan setelah penggunaan *bar screen*) dan pada pengolahan primer. (menggantikan fungsi clarifier guna menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air buangan). *Fine Screen* juga digunakan untuk menghilangkan padatan dari *effluent* yang dapat menyebabkan penyumbatan pada proses *trickling filter*. Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) adalah seperti ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) pada umumnya memiliki variasi bukaan yang berkisar antara 0,2-6 mm. Berikut ini pada Tabel 2.2 merupakan persen removal *fine screen* dan pada Tabel 2.3 merupakan macam-macam *fine screen*.

Tabel 2.2 Persen Removal *Fine Screen*

Jenis Screen	Luas Permukaan		% Removal	
	Inch	Mm	BOD (%)	TSS (%)
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5 - 20	5 - 30
<i>Rotary Drum</i>	0,01	0,25	25 - 50	25 - 45

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

Tabel 2.3 Macam-macam *Fine Screen*

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inch	Mm		
Miring	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
	Kasar	0,1 – 0,2	2,5 – 5		Pengolahan Pendahuluan

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi	Range Ukuran			
	Ukuran	Inch			Mm
	Sedang	0,01 – 0,1	0,25 – 2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless steel	Pengolahan Primer

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

c) *Microscreen*

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat atau material yang mengapung, alga, yang berukuran kurang dari $0,5 \mu\text{m}$. Prinsip yang digunakan pada segala jenis *screen* ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran harus lebih dari 0,3 m/detik sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut empat persegi panjang berukuran 10 mm x 50 mm. Untuk bar screen yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60o terhadap horizontal (Metcalf dan Eddy 2003). *Microscreen* terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain *disk type with stainless-steel fabric* dan *drum type with wedgewire screen*. Adapun kriteria perencanaan unit bar *screen* sebagai berikut:

1. Menggunakan bar *screen* manual
2. Lebar kisi (d) = 5 - 15 mm
3. Jarak antar kisi (r) = 15 – 75 mm
4. Kedalaman (h) = 25 – 38 mm
5. Kecepatan melalui bar *screen* (v) = 0,3 – 0,6 m/s
6. *Headloss* maksimal (H_f) = 150 mm = 0,15 m
7. Kemiringan kisi ($^\circ$) = 30° - 45°

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

Adapun rumus yang dapat digunakan untuk menghitung dimensi screen, sebagai berikut :

- Tinggi *Bar Screen*

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{saluran}} + (20\% \times H_{\text{saluran}})$$

Keterangan :

H saluran = tinggi saluran

- Jumlah kisi

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

Keterangan :

W_s = lebar *screen* (m)

n = jumlah kisi (m)

r = jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar *screen*

n = jumlah kisi

d = lebar kisi, diameter (m)

- Dimensi *Bar Screen*

- Panjang sisi miring *bar screen*

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

- Lebar *bar screen*

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

- Cek Kecepatan Setelah Melalui Kisi (V_i)

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

Keterangan :

V_i = Kecepatan setelah melalui kisi (m/detik)

Q = Debit air limbah (m³/detik)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

- Kecepatan pada *bar screen*

$$v = \frac{Q}{wc \times h}$$

Keterangan :

v = kecepatan melalui kisi (m/detik)

Q = debit yang melalui kisi (m³/detik)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

- Panjang kisi (x)

$$x = \frac{y}{\sin \theta}$$

Keterangan :

x = panjang kisi (m)

y = tinggi *screen* (m)

$\sin \theta$ = kemiringan *screen* (°)

- Tinggi kisi (h)

$$H = H + \text{freeboard}$$

Keterangan :

H = kedalaman saluran (m)

- Jarak kemiringan kisi (L)

$$L = \cos \alpha \times x$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi

x = panjang kisi (m)

- *Headloss Screen* (saat normal / non clogging)

$$H_f = \beta \times \left(\frac{\text{lebar total batang}}{\text{lebar total bukaan (wc)}} \right)^{4/3} \times v_i \times \sin \theta$$

Keterangan :

H_f = *headloss* (m)

V_i = kecepatan melalui kisi (m/detik)

- *Headloss* pada bar screen (saat clogging)

$$H_f = \frac{1}{C} \times \frac{V^2 - v^2}{2g}$$

Keterangan :

H_f = *headloss screen* (m)

C = koefisien *headloss*, (*clean screen* = 0,7 ; *clogged screen* = 0,6)

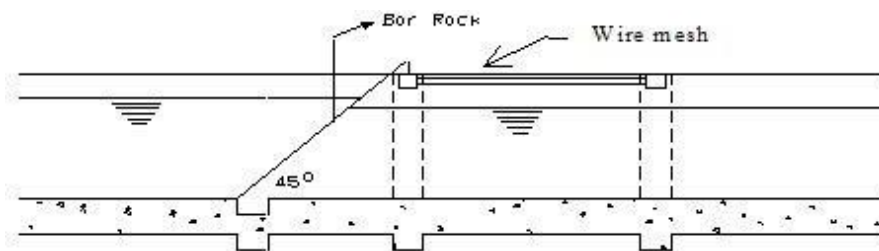
V = kecepatan setelah melalui screen (m/s)

v = kecepatan awal (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s)

Saluran untuk screen direncanakan untuk mengurangi akumulasi dari pasir dan padatan – padatan lain yang dibawa oleh air limbah pada saluran. Dan screen tersebut biasanya digunakan pada saluran berbentuk persegi. Permukaan dari saluran normalnya 7 – 15 cm lebih rendah dari permukaan tanah. Dalam perencanaan, paling sedikit digunakan 2 *screen* yang masing – masing direncanakan aliran puncaknya, dan harus sempurna untuk keseluruhan permasalahan yang di luar dugaan (Metcalf & Eddy, 2003).

Penyaringan tergantung dari jenis air limbah, kondisi geografi, kondisi cuaca, tipe dan ukuran screen. Banyaknya air limbah yang disaring biasanya adalah 3.5 sampai 80 m³ / 106 m³ (0.5 – 11 ft³ / million gallon). Penyaringan mengurangi kira – kira 80 % air limbah yaitu seberat 960 kg / m³ (60 lb / ft³) (Qasim, 1985). Berikut ini pada Gambar 2.8 menunjukkan gambar penampang *screening*.



Gambar 2.8 Bar Screen

(Sumber : Metcalf and Eddy, 2003)

2.3.1.3 Bak Ekualisasi

Bak Ekualisasi berfungsi untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang, sehingga debit dan kualitas air buangan yang masuk ke instalasi pengolahan dalam keadaan seimbang dan tidak berfluktuasi. Tujuan proses equalisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak equalisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Equalisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi. Limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi dan untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak pengumpul atau saluran. Tujuan proses equalisasi untuk mengolah limbah industri adalah :

1. Mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah *shock loading* pada proses biologis.
2. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia yang diisyaratkan untuk proses netralisasi.
3. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
4. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
5. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.

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

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

Power yang dibutuhkan apabila menggunakan surface aerator sebesar 0,02 – 0,04 hp/ 103 gal (0.004 – 0.008 Kw/m³). Udara yang dibutuhkan untuk diffuser air aerator sebesar 0.01-0,015 m³/m³.min (1.25- 2.0 ft³ udara/gal.min). Bak Equalisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak equalisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya. (Sumber : Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004, hal333). Berikut ini pada Tabel 2.4 merupakan kriteria desain dari bak ekualisasi.

Tabel 2.4 Kriteria Desain Bak Ekualisasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimum	hmin	1,5 – 2	m	Tchobanoglous et al., 2003
2	Ambang bebas	hfb	1	m	
3	Laju pemompaan udara	Qudara	0,01 – 0,015	m ³ /m ³ -menit	
4	Kemiringan dasar tangki	S	40 – 100	mm/m diameter	Qasim, 1985

Adapun kriteria perencanaan bak ekualisasi sebagai berikut.

1. Waktu detensi (td) = 1-4 jam
(Sumber: Tom D Reynold, *Unit Operation And Processes In Environmental Engineering, Second Edition, 1995, hal 161*)
2. Freeboard (fb) = 5% – 20% H
(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc*)
3. Kecepatan aliran = 0,3 – 0,6 m/detik
(Sumber: Metcalf & Eddy.2004. *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 321*)
4. Tebal dinding = 20 cm

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

5. Dimensi bangunan

- a. Tinggi bak (H) = 3,5 – 5 m
- b. Lebar bak (B) = 14 – 20 m

(Sumber: Metcalf & Eddy.2004. *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 448*)

Berikut ini rumus-rumus yang digunakan dalam perencanaan unit bak ekualisasi.

- Volume bak ekualisasi

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V = volume (m³)

Q = debit (m³/detik)

Td = Waktu detensi (detik)

- Dimensi bak ekualisasi

$$v = P \times L \times H$$

Keterangan :

v = volume (m³)

P = panjang (m)

L = lebar (m)

H = tinggi (m)

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

Keterangan :

Freeboard = 10% - 20%

- Kebutuhan udara

$$\text{BOD load} = \frac{\text{BOD} \times Q}{1000}$$

Keterangan:

Q = debit (m³/detik)

- Laju kebutuhan oksigen

$$\text{Kebutuhan oksigen} = \frac{\text{beban BOD}}{\text{laju kebutuhan oksigen}}$$

Keterangan :

Beban BOD = Beban BOD (kg BOD load/hari)

Laju kebutuhan oksigen = kg O₂/kg beban BOD

- Power Aerator

$$\text{Kebutuhan power} = \frac{\text{kebutuhan oksigen}}{\text{efisiensi transfer oksigen}}$$

Keterangan :

Kebutuhan oksigen = kebutuhan oksigen (kg/jam)

Efisiensi transfer oksigen = efisiensi transfer oksigen (kg/kWH)

- Jumlah aerator yang digunakan

$$n = \frac{\text{kebutuhan oksigen}}{\text{O}_2 \text{ transfer dari spesifikasi reaktor}}$$

Keterangan :

Kebutuhan oksigen = kebutuhan oksigen (kg O₂/jam)

O₂transfer = O₂ transfer dari spesifikasi reaktor (kg/jam)

- Rancangan Power Surface Aerator

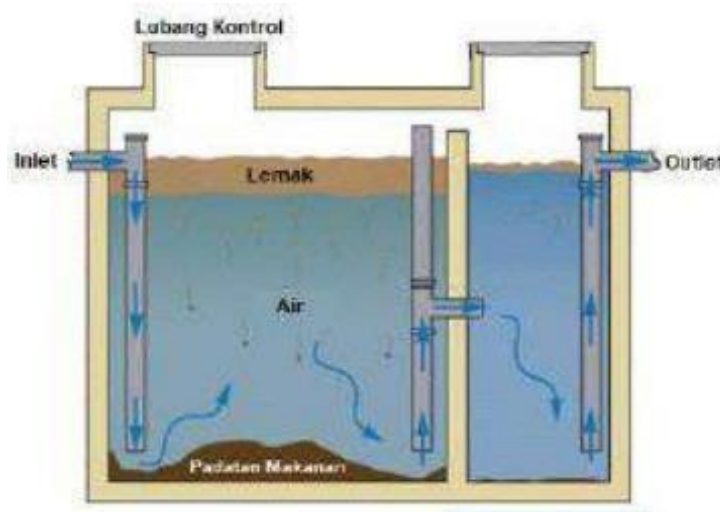
Oxygen transfer rate dari surface aerator (q) dengan melihat tabel 5 – 31 (Sumber: Metcalf & Eddy 1991 Edisi 3 hal 446)

2.3.1.4 Grease Trap

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

kompartemen, yaitu kompartemen pertama ($\frac{2}{3}$ dari total panjang) dan kompartemen kedua ($\frac{1}{3}$ dari total panjang).

Untuk mengambil zat-zat yang tercampur selain dengan cara pengendapan dapat juga dilakukan dengan cara pengapungan. Flotasi adalah unit operasi yang digunakan untuk menyisahkan minyak dan lemak dalam air limbah agar tidak mengganggu sistem pengolahan selanjutnya. Berikut ini pada gambar 2.9 menunjukkan unit *Grease Trap*.



Gambar 2.9 Unit *Grease Trap*

(Sumber: Buku A IPLT PUPR)

Grease trap juga dikenal sebagai pencegat lemak, perangkat pemulihan (*recovery*) minyak dan konverter limbah minyak) merupakan perangkat pipa yang dirancang untuk mencegat sebagian besar gemuk/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. Jenis *Grease Trap* :

1. 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 gemuk akan terjebak dan disimpan dalam perangkat ini.

2. 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.
3. Jenis ketiga yaitu sebuah sistem GRD (*Grease Recovery Devices* / Perangkat Pemulihan Lemak), menghapus lemak / minyak permukaan secara otomatis ketika terjebak.

Adapun kriteria perencanaan unit *grease trap* sebagai berikut.

1. Kecepatan aliran (v) = 2-6 m/jam = 0,00055 m/s – 0,0016 m/s
2. Waktu tinggal (td) = 5-20 menit
3. Terdiri dari 2 kompartemen
 - a. Kompartemen pertama = 2/3 dari total panjang
 - b. Kompartemen kedua = 1/3 dari total panjang
4. Diameter manhole minimal = 0,6 m
5. Penyisihan minyak dan lemak = 46-96%

(Sumber: Eckenfelder, W Wesley, Jr. (2000), “*Industrial Water pollution Control*”, 3rd edition, McGraw-Hill, Inc., New York. Page 117)

Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan *grease trap*

- Volume bak yang dibutuhkan

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

Td = waktu detensi (detik)

- Luas area yang dibutuhkan

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

Rasio P:L = 3:1

Keterangan :

A = luas area yang dibutuhkan (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/s)

P = panjang total (m)

L = lebar (m)

- Panjang kompartemen 1 = 2/3 P
- Panjang kompartemen 2 = 1/3 P

$$A' = P \times L$$

Keterangan :

A' = luas permukaan baru (m²)

P = panjang (m)

L = lebar (m)

- Cek Kecepatan Aliran

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

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

A = luas permukaan baru (m²)

- Kedalaman *grease trap*

$$\text{Hair} = \frac{V}{A'}$$

Keterangan :

V = volume bak (m³/detik)

A' = luas permukaan baru (m²)

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 minyak lemak dalam efluen = (1-efisiensi) x konsentrasi minyak

- Jari-jari Hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

L = panjang *grease trap* (m)

H = tinggi air (m)

- Dimensi Pipa

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

atau

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

V = kecepatan aliran (m/detik)

A = luas permukaan (m²)

D = diameter pipa (m)

- Kecepatan pengapungan

$$V' = \frac{g}{18\eta} \times d^2 \times (\rho - \rho')$$

Keterangan :

g = gravitasi

d = diameter partikel

ρ = massa jenis minyak (kg/m³)

η = viskositas dinamik minyak (poise)

- Cek Bilangan Reynold

$$Nre = \frac{\rho \times R \times V'}{\eta m}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

R = jari-jari hidrolis (cm)

V' = kecepatan pengapungan (cm/detik)

μ_m = viskositas kinematis minyak (cm^2/detik)

Bak Penampung Minyak Lemak

- Minyak dan Lemak Teremoval

$$= \text{kadar} \times Q$$

Keterangan :

Q = debit minyak (L/hari)

- Debit Minyak Lemak

$$= \frac{\text{Berat minyak}}{\rho_m}$$

Keterangan :

ρ_m = massa jenis minyak (kg/m^3)

- Volume BP Minyak

$$V \text{ BP Minyak} = Q_m \times t_d$$

Keterangan :

Q_m = debit minyak (m^3/hari)

T_d = waktu tinggal (hari)

- Dimensi Bak Penampung Minyak

$$V \text{ BP Minyak} = P \times L \times H$$

Keterangan :

v = volume BP minyak (m^3)

P = panjang bak (m)

L = lebar bak (m)

H = tinggi bak (m)

- *Headloss Grease Trap*

- Jari-jari hidrolis (R)

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

- Slope

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

- Headloss (Hf)

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

2.3.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pada proses ini terjadi proses fisik dan kimia. Pengolahan pertama ini pada umumnya mampu mereduksi BOD antara 30 – 40 % dan mereduksi TSS 50 - 65%. (Syed R. Qasim, 1985, “Wastewater Treatment plant”, CBS College Publishing, hal 52). Jika di dalam pengolahan pendahuluan bertujuan untuk mensortir kerikil, lumpur, memisahkan lemak, maka pada pengolahan pertama bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan (Sugiharto, (1987). Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah, Salemba, Jakarta: Universitas Indonesia Press).

2.3.2.1 Netralisasi

Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau 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 CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan asam.

Larutan dikatakan asam bila $= H^+ > H^-$ dan $pH < 7$

Larutan dikatakan netral bila $= H^+ = H^-$ dan $pH = 7$

Larutan dikatakan basa bila $= H^+ < H^-$ dan $pH > 7$

Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan pH atau keasaman air baku sampai menjadi netral. Hal tersebut dimaksudkan agar proses pengolahan dapat berjalan dengan baik. Bahan kimia yang umum dipakai yaitu asam sulfat atau asam klorida untuk menetralkan air baku yang bersifat alkali. Sedangkan untuk air baku yang bersifat asam umumnya digunakan soda ash atau soda abu dan kapur tohor (Said, 2017).

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

- Percampuran limbah
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- Percampuran limbah asam dengan Slurry kapur
- Penambahan sejumlah NaOH, Na_2CO_3 atau Na_4OH ke limbah asam
- Penambahan asam kuat ($\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCL}$) dalam limbah basa
- Pembangkitan CO_2 dalam limbah basa

Proses penetralan umumnya dilakukan dengan pengadukan di dalam bak pencampur dengan waktu detensi berkisar antara 5 sampai 30 menit, dan biasanya dilengkapi dengan kontrolir pH. Penetralan dengan memakai kapur dapat menimbulkan endapan garam kalsium (Said, 2017). Dalam proses netralisasi, terdapat dua (2) sistem yang digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem sistem tersebut diantaranya sebagai berikut (Eckenfelder, 2000).

- Sistem *batch* biasa digunakan pada air limbah yang memiliki debit lebih kecil dari $380 \text{ m}^3/\text{hari}$.
- Sedangkan sistem *continue* membutuhkan pengaturan tingkat keasaman (pH).

Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara $1 - 3 \text{ ft}^3/\text{mm.ft}^2$ atau $0,3 - 0,9 \text{ m}^3/\text{mm.m}^2$ dengan kedalaman 9 ft (2,7 m). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara 0,2 – 0,4 hp/ribu.gal (0,04 - 0,08 kW/ m^3).

1) Mencampur air limbah yang bersifat asam dengan basa

Jenis netralisasi ini tergantung dari macam-macam bahan basa yang digunakan. Magnesium adalah bahan basa yang sangat reaktif dalam asam kuat dan digunakan pada pH di bawah 4,2.

Netralisasi dengan menggunakan bahan basa dapat didefinisikan berdasarkan faktir titrasi dalam 1 gram sampel dengan HCl yang dididihkan selama 15 menit kemudian dititrasi lagi dengan 0,5 N NaOH dengan menggunakan phenolphthalen sebagai buffer. Mencampurkan bahan-bahan

basa dapat dilakukan dengan pemanasan maupun pengadukan secara fisik. Untuk bahan yang sangat reaktif, reaksi terjadi secara lengkap selama 10 menit. Bahan-bahan basa lainnya yang dapat digunakan sebagai netralisasi adalah NaOH, Na_2CO_3 atau NH_4OH .

2) Air limbah yang bersifat basa

Banyak bahan asam kuat yang efektif digunakan untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa, biasanya yang digunakan adalah sulfuric atau hydrochloric acid. Asap gas yang terdiri dari 14% CO_2 dapat digunakan untuk netralisasi dengan melewati gelembung-gelembung gas melalui air limbah. CO_2 ini terbentuk dari karbonik acid yang dapat bereaksi dengan basa. Reaksi ini lambat tapi cukup untuk mendapatkan pH antara 7 hingga 8. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan spray tower.

Adapun beberapa sistem yang dapat digunakan untuk bangunan netralisasi ini adalah:

- Sistem batch yang digunakan untuk aliran air limbah hingga $380 \text{ m}^3/\text{hari}$.
- Sistem continue, dengan pH control dibutuhkan udara untuk pengadukan dengan minimum aliran air $1-3 \text{ ft}^3/\text{mm}$, ft^2 atau $0,3 - 0,9 \text{ m}^3/\text{mm}$, m^2 pada kedalaman 9 ft (2,7 m). Menggunakan sistem pengadukan mekanis, dimana daya yang digunakan $0,2 - 0,4 \text{ hp}/\text{ribu.gal}$ ($0,04 - 0,08 \text{ kWh}/\text{m}^3$) (Eckendfelder, 2000).

Berikut ini pada Gambar 2.10 dapat dilihat unir netralisasi yang digunakan pada pengolahan limbah industri.



Gambar 2.10 Unit Netralisasi

(Sumber: Sunrui, 2021)

Adapun kriteria perencanaan dari unit netralisasi sebagai berikut.

1. Waktu tinggal di dalam bak (Td) = 20 – 60 detik
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 182*)
2. Gradien kecepatan pengaduk (G) = 1500 - 6000 /detik
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 348*)
3. Diameter paddle (Di) = 30 - 60% diameter bak
4. Lebar paddle (Wi) = 1/6 – 1/10 diameter paddle
5. Kecepatan putaran paddle (n) = 20 – 150 rpm
6. Lebar baffle = 10% diameter tangki
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 185*)
7. Kedalaman bak (H) = 1 – 1,25 diameter
8. Jarak paddle dari dasar = 30 – 50% Di
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184*)
9. Kecepatan pipa outlet (v) = 1 – 1,25 m/s
10. Reynold Number (Nre) = >10.000

(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 187*)

Adapun rumus yang digunakan dalam perencanaan unit netralisasi untuk menetralkan air limbah apabila menggunakan NaOH sebagai berikut.

- Dosis NaOH

$$\text{Massa NaOH} = n \times M_{r\text{NaOH}} \times \alpha$$

- Kebutuhan NaOH

$$\text{Kebutuhan NaOH} = \text{Dosis NaOH} \times Q$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (L/hari)

Dosis NaOH (mg/L)

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \cdot N_1 = Q_2 \cdot N_2$$

$$\text{Kebutuhan air pelarut} = \frac{Q_1}{\rho_{\text{air}}}$$

Keterangan:

Q₁ = Kebutuhan pelarut

N₁ = Konsentrasi larutan NaOH

Q₂ = Kebutuhan NaOH

N₂ = Konsentrasi total larutan (100%)

- Volume total tangki pembubuh

$$V = Q_{\text{Total}} \times T_d$$

Keterangan:

T_d = Waktu detensi (detik)

- Dimensi tangki pembubuh

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

Keterangan:

d = diameter tangki pembubuh

h = kedalaman tangki

- Suplai Tenaga ke air

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

Keterangan:

P = Suplai tenaga ke air (N.m/s)

G = Kecepatan pengadukan (/detik)

μ = Viskositas kinematis (N.s/m²)

V = Volume tangki (m³)

- Diameter impeller

$$D_i = \left(\frac{P}{KT.n^3.\rho} \right)^{\frac{1}{5}}$$

- Jarak paddle dari dasar bak

$$\text{Jarak paddle} = (30\% - 50\%) \times D_i$$

Keterangan:

D_i = Diameter impeller

- Ukuran Baffle

$$\text{Baffle} = 10\% \times D_t$$

Keterangan:

D_t = Diameter tangki

2.3.2.2 Koagulasi Flokulasi

Ketika memasuki proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al³⁺) dengan ion negatif dari partikel (misal OH⁻) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca²⁺) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO₄²⁻) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2016).

Bila koagulan ditambahkan ke dalam air, reaksi yang terjadi antara lain:

- Pengurangan zeta potensial (potensial elektrostatis) hingga suatu titik dimana gaya van der Waals dan agitasi yang diberikan menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung serta membentuk flok;
- Agregasi partikel melalui rangkaian inter partikulat antara grup-grup reaktif pada koloid;
- Penangkapan partikel koloid negatif oleh flok-flok hidroksida yang mengendap.

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain:

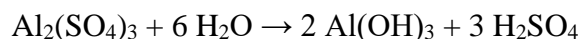
- Kualitas air meliputi gas-gas terlarut, warna, kekeruhan, rasa, bau, dan kesadahan;
- Jumlah dan karakteristik koloid;
- Derajat keasaman air (pH);
- Pengadukan cepat, dan kecepatan paddle;
- Temperatur air;
- Alkalinitas air, bila terlalu rendah ditambah dengan pembubuhan kapur;
- Karakteristik ion-ion dalam air.

Koagulan merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya (secara grafitasi). Kekeruhan dan warna dapat dihilangkan melalui penambahan

koagulan atau sejenis bahan-bahan kimia antara lain. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Metcalf & Eddy, 2004).

a. Alumunium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)

Alumunium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini biasanya disebut tawas, bahan ini dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$. Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 4,5 – 7 (Eckenfelder, 2000). Adapun reaksi dasarnya adalah sebagai berikut.



b. Koagulan *Ferrie Chloride* ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Dalam pengolahan air penggunaannya terbatas karena bersifat korosif dan tidak tahan untuk penyimpanan yang terlalu lama.

c. Koagulan *Ferrous Sulfate* ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Dikenal sebagai Copperas, bentuk umumnya adalah granular. Ferrous Sulfate dan lime sangat efektif untuk proses penjernihan air dengan pH tinggi ($\text{pH} > 10$).

d. Koagulan *Chlorinated Copperas* ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$), $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Dibuat dengan menambahkan klorin untuk mengoksidasi Ferrous Sulfate. Keuntungan penggunaan koagulan ini adalah dapat bekerja pada jangkauan pH 4,8 hingga 11.

e. Koagulan *Sodium Aluminate* (NaAlO_2)

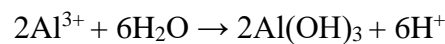
Digunakan dalam kondisi khusus karena harganya yang relatif mahal. Biasanya digunakan sebagai koagulan sekunder untuk menghilangkan warna dan dalam proses pelunakan air dengan lime soda ash.

f. Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

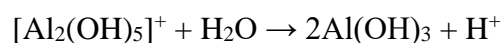
Polimer alumunium merupakan jenis baru sebagai hasil riset dan pengembangan teknologi air sebagai dasarnya adalah alumunium yang berhubungan dengan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang, pada PAC unit berulangnya adalah Al-OH. PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Namun terdapat kendala dalam menggunakan PAC sebagai koagulan aids yaitu perlu pengarahan dalam pemakaiannya karena bersifat higroskopis.

Pada umumnya koagulan yang digunakan akan membentuk logam hidroksida. Penggunaan koagulan aluminium sulfat menyebabkan pelepasan sebuah ion hidrogen untuk tiap gugus hidrogen yang dihasilkan. Ion hidrogen yang dihasilkan ini menyebabkan penurunan pH yang cukup tajam, sehingga air yang diolah menjadi lebih asam. Pada penggunaan PAC sebagai koagulan, pH air hasil pengolahan tidak mengalami penurunan pH yang cukup tajam seperti pada penggunaan koagulan aluminium sulfat. Hal ni dapat dilihat dari reaksi yang terjadi sebagai berikut:

Alumunium sulfat:



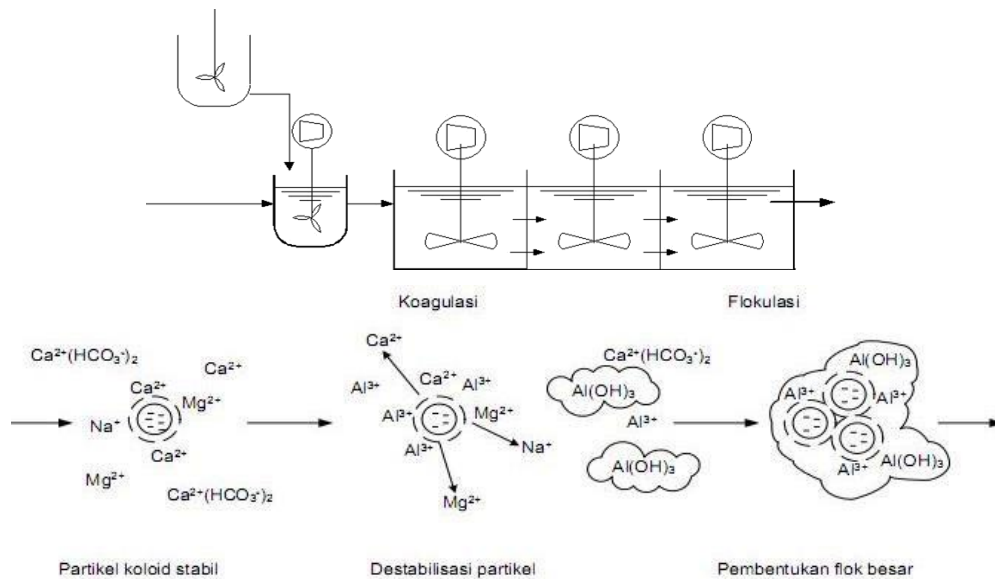
PAC:



Dari reaksi di atas dapat dilihat bahwa pada reaksi hidrolisis, aluminium sulfat dalam air melepas ion H^+ sebanyak 6H^+ , sedangkan pada reaksi hidrolisis PAC hanya dilepaskan 1 buah ion H^+ . Hal ini akan menyebabkan pH air yang menggunakan aluminium sulfat akan bersifat lebih asam daripada yang menggunakan koagulan PAC (Budiman *et al.*, 2008).

Setelah ini flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya

pengadukan lambat. Proses koagulasi-flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada Gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Gambaran Proses Koagulasi Flokulasi

(Sumber : Masduqi, A., *et al.*, 2012).

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi.

Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan *jar test apparatus* dapat dilihat pada Gambar 2.12 untuk mendapatkan kondisi optimum. (Masduqi, A., *et al.*, 2012).



Gambar 2.12 Peralatan Jar Test

A. Pengadukan

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi-flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. (Masduqi, A., *et al.*, 2012).

Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Sedangkan berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan.

• Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik^{-1}) selama 5 hingga 60 detik atau nilai Gt_d (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan t_d bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Masduqi, A., *et al.*, 2012).

a. Untuk proses koagulasi flokulasi

- Waktu detensi = 20 – 60 detik
- G = 1000 – 700 detik^{-1}

b. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda)

- Waktu detensi = 20 – 60 detik
- G = 1000 – 700 detik^{-1}

c. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 0,5 – 6 menit
- G = 1000 – 700 detik^{-1}

B. Pengadukan Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik⁻¹) selama 10 hingga 60 menit atau nilai *GTd* (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai *G* dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut (Masduqi, A., *et al.*, 2012).

1. Untuk air Sungai

- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

2. Untuk air waduk

- Waktu = 30 menit

- $G = 10 - 75 \text{ detik}^{-1}$

3. Untuk air keruh

- Waktu dan *G* lebih rendah

4. Bila menggunakan gram besi sebagai koagulan

- G tidak lebih dari 50 detik⁻¹

5. Untuk flokulator 3 kompartemen

- G kompartemen 1 = nilai terbesar

- G kompartemen 2 = 40% dari G kompartemen 1

- G kompartemen 3 = nilai terkecil

6. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur dan soda)

- Waktu detensi = minimum 30 menit

- $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$

7. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 15 - 30 menit

- $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$

- $GTd = 10.000 - 100.000$

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

1. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling). Paddle impeller Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat blades. Blades dapat berbentuk pitch atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter paddle impeller biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar paddle biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak paddle yaitu 50% dari diameter diatas dasar tangki. Kecepatan paddle berkisar antara 20-150 rpm. Paddle impeller tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynold, 1996). Propeller impeller memiliki dua atau tiga blades. Pitch didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya pitch adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter propeller maksimum 18 inchi. Kecepatan propeller biasanya 400-1750 rpm. Agitator propeller sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynold, 1996).

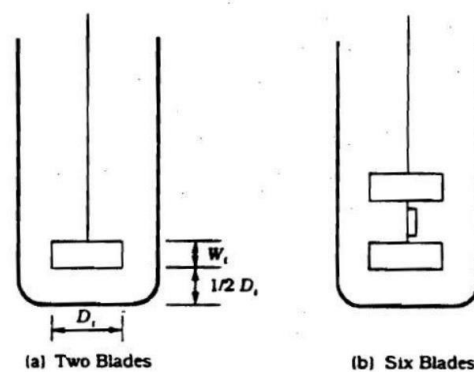
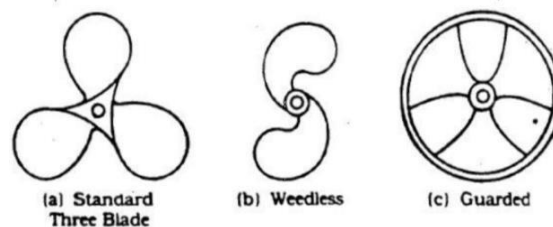
Power yang dihasilkan dari berbagai impeller dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta impeller, K_T dan K_L . Berikut ini pada Tabel 2.5 menunjukkan konstanta K_T dan K_L .

Tabel 2.5 Konstanta K_T dan K_L

Jenis impeller	K_T	K_L
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine , 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45o	70,0	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shroude turbine, eith stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (singgle padle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flats paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flats paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flats paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flats paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$	71,0	3,82

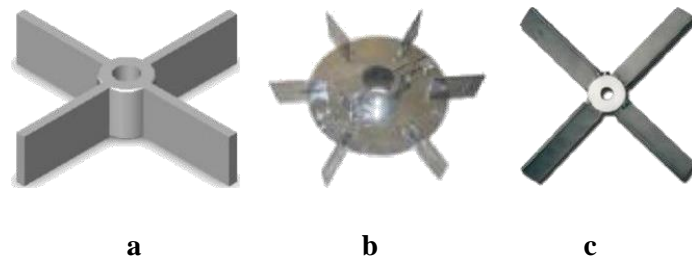
(Sumber : Reynold & Richards. 199)

Berikut ini pada Gambar 2.13 menunjukkan tipe paddle impeller dan pada Gambar 2.14 menunjukkan tipe propeller impeller.

**Gambar 2.13** Tipe Paddle Impeller**Gambar 2.14** Tipe Propeller Impeller

(Sumber : Reynolds & Richards., 1996)

Berikut ini pada Gambar 2.15 menunjukkan tipe turbine yang digunakan di unit koagulasi-flokulasi.

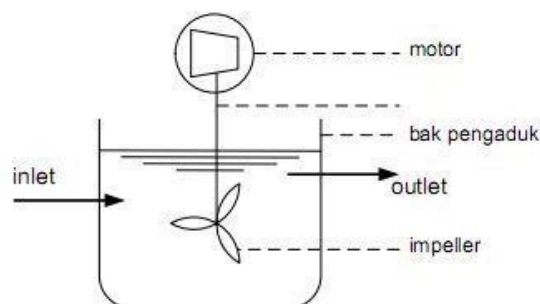


Gambar 2.15 Tipe Turbine

(a)turbine blade lurus, (b) turbine blade dengan piringan, (c)turbin dengan blade menyerong

(Sumber: *Qasim, S. R. (1985)*)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II dan G di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal. Berikut ini pada Gambar 2.16 menunjukkan pengadukan cepat dengan alat pengaduk.



Gambar 2.16 Pengadukan Cepat dengan Alat Pengaduk

(Sumber: (Masduqi, A., *et al.*, 2012).

Berikut ini pada Tabel 2.6 menunjukkan nilai gradien kecepatan dan waktu pengadukan.

Tabel 2.6 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

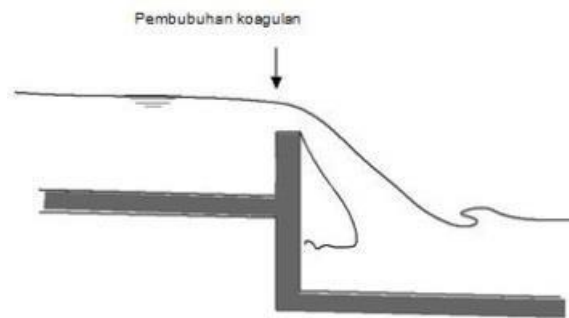
Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 ≥	700

(Sumber : Reynolds & Richards. (1996)

2. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan loncatan hidrolik, dan *parshall flume*.

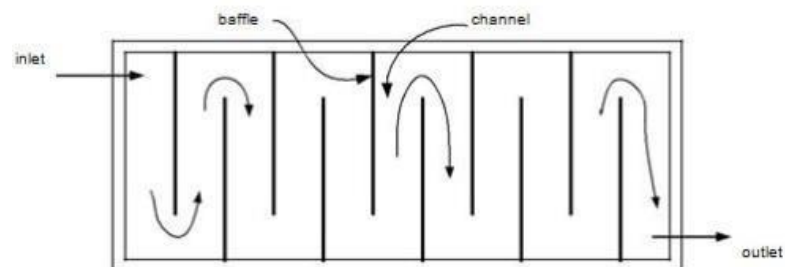
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*baffled channel*, dapat dilihat pada Gambar 2.17), *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya. (Masduqi, A., *et al.*, 2012).



Gambar 2.17 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

(Sumber: Masduqi, A., *et al.*, 2012).

Berikut ini pada Gambar 2.18 menunjukkan baffle channel.

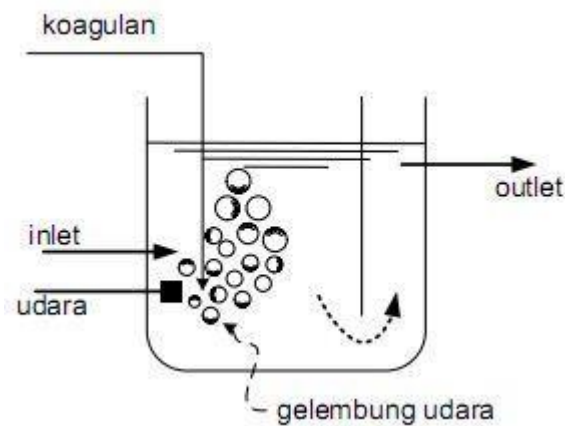


Gambar 2.18 Baffle Channel

(Sumber: Masduqi, A., *et al.*, 2012)

3. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air (Gambar 2.19). Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2.19 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

(Sumber: Masduqi, A., *et al.*, 2012)

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan pembantu.

Adapun kriteria perencanaan unit koagulasi dan flokulasi pada instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut.

a. Tangki Koagulan

1. Koagulan = *Poly Aluminium Chloride* (PAC)
2. Kadar PAC = 10%

(Sumber: Qasim, Syed R., Motley & Zhu, G. 2000. *Water Works Engineering*. Halaman 236)

3. Berat jenis PAC (ρ PAC) = 1.230 kg/m^3

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operatios and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 175. Boston: PWS Publishing Company 175)

4. Dosis koagulan PAC = 25 mg/L

(Sumber: Eckenfelder, W., W. 2000. *Industrial Water Pollution Control 3rd edition*, hal 132. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc)

5. Kadar air dalam PAC cair = 74%

6. Kecepatan gradient (G) = 700 – 1000/detik

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 182)

7. Kecepatan pengadukan (n) = 20 – 150 rpm

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 185)

b. Tangki Koagulasi

1. Waktu detensi (td) = 5 – 30 detik (pengadukan cepat)

2. Gradien kecepatan (G) = 500 – 1500 /detik (pengadukan cepat)

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. Hal 348)

3. Kecepatan pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. Hal 316)

4. Tinggi bak (H) = 1 – 1,25 lebar bak

a) Jarak impeller dari dasar (Hi) = 30 – 50% diameter impeller

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 184)

5. Kecepatan putaran *paddle* (n) = 20 - 150 rpm

a) Diameter *paddle* (Di) = 50 – 80% diameter bak

b) Lebar *paddle* (Wi) = 1/6 – 1/10 diameter *paddle*

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 185)

c) Bilangan Reynold = (Nre) > 4.000 (aliran turbulen)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Hal 187)

c. Tangki Flokulasi

1. Waktu detensi (td) = 30 - 60 menit (pengadukan lambat)

2. Gradien kecepatan (G) = 50 – 100 /detik (pengadukan lambat)

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. Hal 348)

3. Tinggi bak (H) = 1 – 1,25 lebar bak
4. Jarak impeller dari dasar (Hi) = 30 – 50% diameter impeller
5. Kecepatan turbin impeller = 10 – 150 rpm

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, Hal 184*)

6. Bilangan Reynold = (Nre) > 4.000 (aliran turbulen)

(Sumber: Reynolds, Tom D, dan Paul A. Richards. 1996. Hal 187)

Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam mendesain unit koagulasi flokulasi sebagai berikut.

Tangki Koagulan

- Kebutuhan alum

$$(Dosis\ alum \times Q\ air\ limbah) \times td$$

Keterangan :

Q = debit air limbah

td = waktu detensi

- Volume alum cair

$$\frac{Kebutuhan\ alum}{\rho\ alum}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis alum

- Sulpai tenaga (P)

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

Keterangan :

P = Sulpay tenaga

Gradien kecepatan (G) = 20 – 75%

Viskositas absolute (μ) di suhu 30°C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = volume tangki koagulan

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{efisiensi\ gearbox}$$

Keterangan :

P = *Supply* tenaga

P' = *Power* drive

- Diameter impeller (Di)

$$Di = 50\% \times \text{diameter bak}$$

Keterangan :

Di = Diameter impeller (m)

- Jarak impeller dengan dasar bak

$$\text{Jarak impeller} = 50\% \times \text{diameter impeller}$$

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{P'}{\rho_{\text{air}} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P = *Power* drive

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Di = diameter impeller (m)

n = kecepatan putaran (rps)

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho_{\text{air}}}{\mu}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Di = diameter impeller (m)

n = kecepatan putaran (rps)

Tangki Koagulasi

- Volume bak koagulasi

$$V = Q \text{ limbah} \times t_d$$

Keterangan :

V = volume bak koagulasi (m³)

Q = debit limbah (m³/detik)

Td = waktu detensi (detik)

- Volume total

$$V \text{ total} = V \text{ limbah} + V \text{ koagulan}$$

Keterangan :

V limbah = Volume limbah (m³)

V koagulan = Volume bak koagulan (m³)

- Suplai tenaga (P)

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

Keterangan :

P = Suplai tenaga (kW)

Gradient kecepatan (G) = 20 – 75%

Viskositas absolute (μ) di suhu 30°C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = volume bak koagulasi (m²)

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{\text{efisiensi gearbox}}$$

Keterangan :

P = Suplai tenaga (kW)

P' = Power drive

- Diameter impeller (Di)

$$Di = 50\% \times \text{diameter bak}$$

Keterangan :

Di = diameter impeller (m)

- Jarak impeller dengan dasar bak

$$\text{Jarak impeller} = 50\% \times \text{diameter impeller}$$

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{p'}{\rho_{\text{air}} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P = Power drive

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Di = diameter impeller (m)

n = kecepatan putaran (rps)

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan :

- ρ = massa jenis air (kg/m³)
- Di = diameter impeller (m)
- n = kecepatan putaran (rps)

Flokulasi

- Volume bak flokulasi

$$V = Q \text{ limbah} \times t_d$$

Keterangan :

- V = volume bak flokulasi (m³)
- Q = debit limbah (m³/detik)
- Td = waktu detensi (detik)

- Dimensi bak

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

Keterangan

- V = volume bak flokulasi (m³)
- D = diameter bak (m)
- H = ketinggian bak (m)

- Hbangunan = Hair + Hfb

Keterangan :

- Hair = tinggi air (m)
- Hfb = tinggi bangunan (m)

- Suplai Tenaga (P)

- $P = G^2 \times \mu \times V$

Keterangan :

- P = Suplai tenaga (kW)

Gradien kecepatan (G) = 20 – 75%

Viskositas absolute (μ) di suhu 30°C = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²

V = volume bak flokulasi (m²)

- Power drive (P')

$$P' = \frac{P}{\text{efisiensi gearbox}}$$

Keterangan :

P = Suplai tenaga (kW)

P' = Power drive

- Diameter impeller (Di)

$$Di = 50\% \times \text{diameter bak}$$

Keterangan :

Di = diameter impeller (m)

- Jarak impeller dengan dasar bak

$$\text{Jarak turbin} = 50\% \times \text{diameter impeller}$$

Keterangan :

Di = diameter impeller (m)

- Kecepatan putaran (n)

$$n = \left(\frac{p'}{\rho \text{ air} \times Kt \times Di^5} \right)^{1/3}$$

Keterangan :

P = Power drive

ρ = massa jenis air (kg/m²)

Di = diameter impeller (m)

n = kecepatan putaran (rps)

- Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis air (kg/m²)

Di = diameter impeller (m)

n = kecepatan putaran (rps)

Pada tabel 2.7 di bawah ini menunjukkan beberapa jenis koagulan yang digunakan pada proses pengolahan air pada unit koagulasi sebagai berikut.

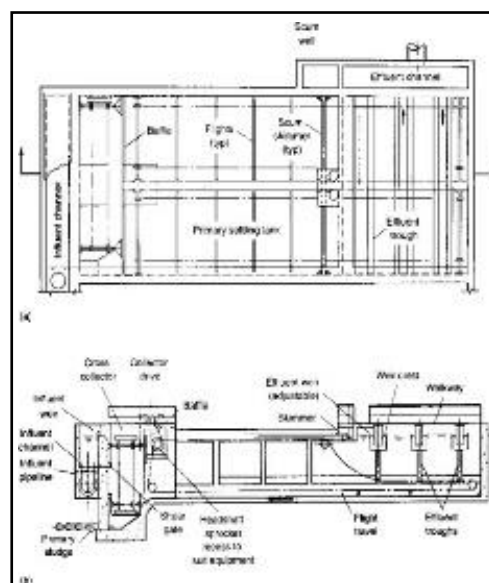
Tabel 2.7 Koagulan Pada Pengolahan Air

Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat Molekul	Wujud	Densitas Bulk (kg/m ³)	Specific Gravity	Kelarutan dalam air	Kadar Kimia (%w/w)	Kadar Air (% w/w)	pH Larutan
Aluminium Sulfat	Alum	Al ₂ (SO ₄) ₃ . 14, 3 H ₂ O	599,77	Putih terang Padat	1000-1096	1,25-1,36	Sekitar 872	Al :9,0-9,3	-	Sekitar 3,5
	Alum Cair	Al ₂ (SO ₄) ₃ . 49, 6 H ₂ O	1235,71	Putih atau terang abu – abu Kekuningan Cair	-	1,30-1,34	Sangat larut	Al :4,0-4,5	71,2-74,5	
Ferri Klorida	Besi (III) klorida Besi Triklorida	FeCl ₃	162,21	Hijau-hitam Bubuk	721-962	-	Sekitar 719	Fe :Kira-kira 34	-	
	Ferri klorin cair	FeCl ₃ . 6 H ₂ O FeCl ₃ . 13,1 H ₂ O	270,30 398,21	Kuning-coklat Bongkahan	962-1026 -	- 1,20-1,48	Sekitar 814 Sangat larut	Fe :20,3-21,0 Fe : 12,7-14,5	- 56,5-62,0	0,1-1,5
Ferri Sulfat	Besi (III) sulfat Besi Persulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ . 9H ₂ O	562,02	Coklat- kemerahan Cair	1122-1154	-	-	Fe : 17,9-18,7	56,5-64,0	
	Ferri sulfat cair	Fe ₂ (SO ₄) ₃ . 36,9H ₂ O	1064,64	Merah-Coklat Bubuk	-	1,40-1,57	Sangat larut	Fe : 10,1-12,0		0,1-1,5
Ferro Sulfat	<i>Copperas</i>	FeSO ₄ .7 H ₂ O	278,02	Hijau Bongkahan Kristal	1010-1058	-	-	Fe :Sekitar 20	-	

(Sumber: Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*)

2.3.2.3 Bak Pengendap 1

Tujuan dari pengolahan dengan sedimentasi adalah untuk menghilangkan padatan yang mudah mengendap dan material yang mengapung, sehingga dapat mengurangi kandungan padatan tersuspensi. Sedimentasi primer digunakan sebagai langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut air limbah. Sedimentasi yang dirancang dan dioperasikan secara efisien harus menghilangkan 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan dari 25 hingga 40 persen BOD (Metcalf & Eddy, 2004). Berikut ini pada Gambar 2.20 menunjukkan bak sedimentasi.



Gambar 2.20 Bak Sedimentasi (a) Denah (b) Potongan

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2004)

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

1. Zona Inlet

Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

2. Zona Outlet

Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

3. Zona Settling

Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

4. Zona Sludge

Kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur.

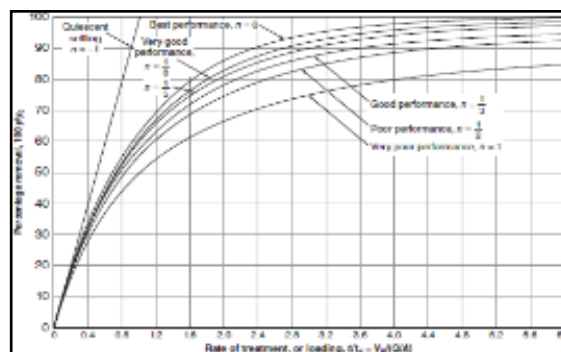
Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui baffle/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet.

Inlet baffle efektif dalam mengurangi kecepatan awal yang tinggi dan mendistribusikan aliran pada luas penampang yang seluas mungkin. Jika baffle lebar penuh digunakan, baffle harus memanjang dari 150 mm di bawah permukaan hingga 300 mm di bawah bukaan pintu masuk (Metcalf & Eddy, 2004). Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan antara lain:

- Kecepatan pengendapan partikel

Menentukan peformasi dari bak Sedimentasi berdasarkan persen removal TSS, bisa memilih menggunakan efektivitas performancenya. Pada Gambar 2.21 dapat dilihat grafik *erformance curves for settling basins of varying effectiveness*.



Gambar 2.21 *Performance curves for settling basins of varying effectiveness*

Sumber: (Fair et al., 1971)

Adapun kriteria perencanaan bak pengendap I (sedimentasi) pada unit instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut.

a) Zona Inlet

1. Kecepatan aliran $= 0,3 - 0,6 \text{ m/s}$

(Sumber : Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, hal 316)

2. Slope maksimal = $<0,002 \text{ m/m (2\%)}$
3. Freeboard (fb) = 10% - 30%
4. Koefisien manning, Beton = 0,011 – 0,020

(Sumber : EPA- *Strom Water Management Model User's Manual Version 5.0*, Hal 165)

b) Zona Settling

1. Waktu pengendapan = 1,5 – 2,5 jam
2. *Overflow rate* (Ofr) = $30 - 50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
3. *Weir loading* = $125 - 500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Treatment and Reuse 4th edition*, hal 398. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

4. Specify Gravity Sludge (Sg) = 1,03
5. Specify Gravity Solid (Ss) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Treatment and Reuse 4th edition*, hal 1456. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

6. Tebal plate settler = 0,005 m
7. Jarak plate settler = 0,1 m
8. Kemiringan plate settler = 60°

(Sumber : L. Huisman *Sedimentation and Flotation*, halaman 80)

9. Slope = 1 – 2%

(Sumber: L. Huisman *Sedimentation and Flotation*, halaman 42)

10. Nre = <2000 aliran laminar
11. Nfr = $>10^{-5}$ menghindari aliran pendek

(Sumber: L. Huisman *Sedimentation and Flotation*, halaman 73)

12. Vh = (vh < vs) [vh harus < vs agar terjadi resuspensi]
13. β = 0,02 – 0,12
14. α = 0,03 m

(Sumber : Huisman, L., 1977. *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Delft. hal 57*)

15. Ketetapan (sg) = 2,65
16. Densitas air (ρ_w) = 996,54 kg/m³
17. Viskositas absolut 27°C (μ) = 8,851 x 10⁻⁴ Kg/m.s
18. Viskositas kinematic (v) = 8,581 x 10⁻⁷ m²/s
19. Kecepatan aliran = <2000 (laminar)
20. Kecepatan pengendapan = ,1 (laminar)

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 184*)

c) Zona Transisi

1. Koefisien manning (n) = 0,013

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, *Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning*)

2. Berat jenis air = 996,26 kg/m³
3. Viskositas dinamik (μ) = 0,8363 x 10⁻³ N.s/m²

(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*)

d) Zona Sludge

1. Waktu pengurasan = 0,5 – 1 hari
2. Laju aliran rata-rata = 30 – 50 m³/m².hari
3. Bilangan Froude (Nfr) = > 10⁻⁵
4. Weir Loading = 125 – 500 m³/m².hari

e) Zona Outlet

1. Kecepatan aliran pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/detik
2. Weir Loading Rate = 125 – 500 m³/m.hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Edition, hal 398*)

3. Koefisien drag (Cd) = 0,548

4. Sudut V notch = 45°

(Sumber: *Qasim, dkk., 2000, Water Work Engineering Planning, Design, and Operation*)

f) Saluran Pengumpul dan Pipa Outlet

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3 m/detik – 0,6 m/detik

(Sumber: *Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316*)

2. Freeboard = 5% - 30% H

(Sumber: *Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc*)

Rumus-rumus yang digunakan pada perhitungan bak pengendap I (sedimentasi) sebagai berikut:

a) Zona Inlet

- Luas Permukaan Saluran

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

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/detik)

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampang basah}}$$

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

- Slope saluran

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

Keterangan :

S = slope (m/m)

n = koefisien kekasaran

v = kecepatan saluran (m/detik)

R = jari-jari hidrolis (m)

b) Zona *Settling*

- Volume Sedimentasi

$$V = Q \times Td$$

Keterangan :

V = volume bak sedimentasi (m³)

Q = debit air limbah (m³/detik)

Td = waktu detensi (detik)

- Luas Permukaan

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

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

OFR = *Over Flowrate* (m³/m².detik)

- Massa Jenis Partikel Flok (ρ)

$$\rho = Sg \times \rho \text{ air}$$

Keterangan :

Sg = specific gravity

ρ = mass jenis partikel flok (kg/m³)

ρ air = massa jenis air (kg/m³)

- Diameter partikel (Dp)

$$Dp = \left(\frac{Vs \times 18 \times v}{g \times (Ss - 1)} \right)^{0,5}$$

Keterangan :

Vs = kecepatan pengendapan (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

v = viskositas kinematis (m²/s)

Ss = specific gravity

- Cek kecepatan penggerusan (V scouring)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (Sg - 1) \times Dp}{\alpha}}$$

Dengan:

- λ, β = kontrol penggerusan
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- dp = diameter partikel (m)

- Waktu detensi (td)

$$T_d = \frac{\text{Volume (V)}}{\text{Debit (Q)}}$$

Keterangan :

- V = volume (m^3)
- Q = debit air limbah ($m^3/detik$)
- Td = waktu detensi (detik)

- Kecepatan horizontal partikel (vh)

$$V_h = \frac{Q}{L \times H}$$

Keterangan :

- Vh = kecepatan horizontal partikel (m/detik)
- Q = debit air limbah ($m^3/detik$)
- L = panjang bak (m)
- H = ketinggian bak (m)

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan :

- L = panjang bak (m)
- H = ketinggian bak (m)
- R = jari-jari hidrolis (m)

- Cek bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{v_h \times R}{\nu}$$

Keterangan :

- Vh = kecepatan horizontal partikel (m/detik)
- R = jari-jari hidrolis (m)

- Cek bilangan froud

$$Nfr = \frac{vh^2}{g \times R}$$

Keterangan :

V h = kecepatan horizontal partikel (m/detik)

R = jari-jari hidrolis (m)

g = gradien kecepatan

- Slope bak

$$S = 2\% \times B$$

Keterangan :

S = slope bak (m/m)

B = lebar bak (m)

- Panjang miring plate settler (Lp)

$$Lp = \frac{Hp}{\sin 60^\circ}$$

Keterangan :

Lp = panjang miring plate settler (m)

Hp = tinggi plate settler (m)

- Panjang total plate settler (Pps)

$$L \text{ pemasangan plat} = \frac{2}{3} \times L$$

Keterangan :

Pps = panjang total plate settler (m)

L = panjang bak (m)

- Jumlah plate settler (n)

$$n = \frac{PPs - SPs}{SPs + WPs}$$

Keterangan :

Pps = jumlah plate settler (buah)

SPs = jarak antar plate settler (m)

WPs = panjang tiap plate settler (m)

- Kecepatan vertical (Vv)

$$V_v = \frac{Q}{S_{ps} \times H_{ps}}$$

Keterangan :

- Q = debit air limbah (m³/detik)
 SPs = jarak antar plate settler (m)
 HPs = tinggi plate settler (m)

c) Zona Transisi

- Luas tiap lubang (A1)

$$A1 = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

Keterangan :

- A1 = luas tiap lubang (m²)
 d = diameter lubang (m)

- Luas perforated baffle (Ab)

$$Ab = B \times H$$

Keterangan :

- Ab = luas perforated baffle (m²)
 B = lebar bak (m)
 H = ketinggian bak (m)

- Luas lubang total (A2)

$$A2 = 15\% \times Ab$$

Keterangan :

- A2 = luas lubang total (m²)
 Ab = luas perforated baffle (m²)

- Jumlah lubang

$$n = \frac{A2}{A1}$$

Keterangan :

- n = jumlah lubang (buah)
 A2 = luas lubang total (m²)
 A1 = luas tiap lubang (m²)

- Q tiap lubang (Qp)

$$Q_p = \frac{Q}{\sum \text{lubang}}$$

Keterangan :

Q_p = Q tiap lubang (m³/detik)

Q = debit air limbah (m³/detik)

$\sum \text{lubang}$ = jumlah lubang (buah)

- Kecepatan tiap lubang

$$V_h = \frac{Q_p}{A_1}$$

Keterangan :

V_h = kecepatan tiap lubang (m/detik)

Q_p = Q tiap lubang (m³/detik)

A_1 = luas tiap lubang (m²)

- *Headloss* melalui *perforated baffle*

$$H_f = \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan :

H_f = *headloss* (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

g = gradien kecepatan

d) Zona Sludge

- Lumpur yang dihasilkan

Lumpur yang dihasilkan = Q limbah × solid yang mengendap

Keterangan :

Q limbah = debit air limbah (m³/detik)

- Berat air

$$\text{Berat air} = \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar padatan dalam lumpur}} \times \text{lumpur yang dihasilkan}$$

- Berat jenis lumpur (ρ_l)

Berat jenis lumpur (ρ_l) = (berat jenis SS × 10%) + (berat jenis air × 90%)

- Volume lumpur

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{lumpur yang dihasilkan} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur}} \times \text{waktu pengurasan}$$

- Volume zona sludge

$$V = \frac{1}{3} \times H \times A1 \times A2 \times \sqrt{(A1 \times A2)}$$

Keterangan :

- V = volume zona sludge (m³)
- H = kedalaman zona lumpur (m)
- A1 = luas permukaan lumpur (m²)
- A2 = luas permukaan dasar (m²)

- Debit pipa penguras sludge (Qp)

$$Qp = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

Keterangan :

- Qp = debit pipa penguras (m³/detik)
- v = volume lumpur (m³)
- t = waktu pengurasan (detik)

- Luas pipa (A)

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

Keterangan :

- A = luas pipa (m²)
- Qp = debit pengurasan (m³/detik)
- v = kecepatan pengurasan (m/detik)

- Diameter pipa penguras

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

Keterangan :

- D = diameter pipa pengurasan (m)
- A = luas permukaan pipa (m²)

e) Zona Outlet

- Q unit outlet

$$Q \text{ unit outlet} = Q \text{ limbah} - Q \text{ pengurasan sludge}$$

- Panjang total weir (Lw)

$$Lw = \frac{Q \text{ outlet}}{WRL}$$

Keterangan :

Lw = panjang total weir (m)

Q outlet = debit outlet (m³/detik)

WRL = Weir loading (m³/m.hari)

- Panjang pelimpah (Lp)

$$P = \frac{\text{panjang total weir (Lw)}}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan :

Lp = panjang pelimpah (m)

Lw = panjang total weir (m)

- Debit tiap pelimpah (Qp)

$$Qp = \frac{Q \text{ outlet}}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan :

Qp = debit tiap pelimpah (m³/detik)

- Luas saluran pelimpah (A)

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

Keterangan :

A = luas saluran pelimpah (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/detik)

- Tinggi (hp) dan Lebar (wp) Pelimpah

$$Hp = \sqrt{2 \times A \text{ saluran pelimpah}}$$

$$Wp = 2 \times h$$

Keterangan :

Hp = tinggi pelimpah (m)

Wp = lebar pelimpah (m)

h = kedalaman pelimpah (m)

A = luas saluran pelimpah (m²)

- Ketinggian air pada gutter (h air)

$$H \text{ air} = \left(\frac{Q \text{ pelimpah}}{1,38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Keterangan :

H air = kedalaman air (m)

Qpelimpah = debit pelimpah (m³/detik)

- Tinggi gutter (h gutter)

$$H \text{ gutter} = h \text{ muka air} + (20\% \times h \text{ muka air})$$

Keterangan :

H gutter = kedalaman gutter (m)

- Jari-jari hidrolis gutter

$$\text{Jari-jari hidrolis gutter} = \frac{h \text{ air} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h \text{ air}) + \text{lebar gutter}}$$

- Luas basah gutter (A basah gutter)

$$A = \text{Lebar gutter} \times h \text{ muka air}$$

Keterangan :

A = luas basah gutter (m²)

- Slope gutter

$$S = \left(\frac{Q \text{ outlet} \times n}{A \text{ basah gutter} \times (R \text{ hidrolis})^{0,67}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope gutter (m/m)

A = luas basah gutter (m²)

R = jari-jari hidrolis (m)

Qoutlet = debit outlet (m³/detik)

- *Headloss* pada gutter

$$H_f = L \text{ pelimpah} \times \text{Slope gutter}$$

Keterangan :

L pelimpah = panjang pelimpah (m)

S = slope gutter (m/m)

Hf = *Headloss* (m)

- Jumlah V notch

$$n = \frac{\text{panjang pelimpah}}{\text{jarak antar v notch} + \text{lebar v notch}}$$

- Debit mengalir tiap V notch

$$Q \text{ v notch} = \frac{Q}{\text{jumlah V notch}}$$

- Tinggi peluapan melalui V notch (Hp)

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2 \times g \times \tan \frac{\theta}{2}} \times Hp^{\frac{5}{2}}$$

f) Saluran Pengumpul dan Pipa Outlet

- Debit saluran pengumpul

$$Q = \frac{Q \text{ total bak sedimentasi}}{\text{jumlah bak}}$$

Keterangan :

Q = debit bak sedimentasi (m³/detik)

- Volume saluran

$$\text{Volume saluran} = Q \text{ saluran pengumpul} \times t_d$$

Keterangan :

V = volume saluran (m²)

Q = debit saluran pengumpul (m³/detik)

Td = waktu detensi (detik)

- Luas saluran (A)

$$A = \frac{Q \text{ saluran pengumpul}}{v}$$

Keterangan :

A = luas saluran (m²)

Q = debit saluran pengumpul (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/detik)

- H pelimpah

$$H = \sqrt{2 \times A}$$

Keterangan :

H = kedalaman pelimpah (m)

A = luas pelimpah (m^2)

- Panjang pelimpah (L)

$$L_p = 2 \times H \text{ pelimpah}$$

Keterangan :

L_p = panjang pelimpah (m)

H pelimpah = kedalaman pelimpah (m)

- H total

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

- Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampang basah}}$$

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

- Slope saluran (s)

$$S = \left(\frac{V \times n}{R^{0,67}} \right)^2$$

Keterangan :

S = slope saluran (m/m)

V = kecepatan aliran (m/detik)

n = koefisien kekasaran

R = jari-jari hidrolis (m)

- Headloss saluran pembawa (H_f)

$$H_f = s \times L$$

Keterangan :

H_f = *Headloss* (m)

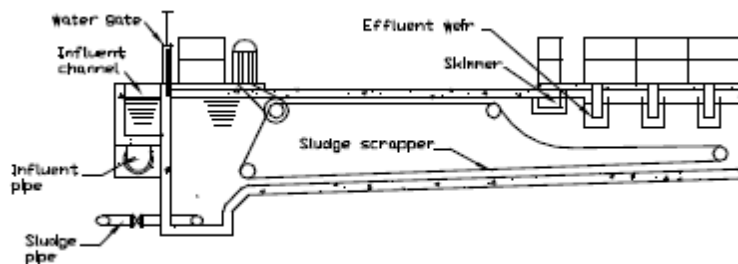
S = slope (m/m)

L = panjang saluran (m)

Bak sedimentasi pertama membantu mengurangi kandungan padatan tersuspensi dalam air limbah domestik. Pemisah dirancang untuk memungkinkan sebagian partikel mengendap ke permukaan dengan waktu tinggal tertentu tingkat pengendapan untuk keamanan. Perlu melakukan tes retensi laboratorium

untuk mengetahui nilai yang lebih representatif. Karena sifat air limbah domestik berbeda dari satu daerah ke daerah lain rencana. Proses sedimentasi biasanya dilakukan setelah proses flokulasi. Proses ini bertujuan untuk memperbesar partikel padat. Oleh karena itu, menjadi berat dan dapat tenggelam dalam waktu singkat. Ukuran dan bentuk partikel mempengaruhi rasio luas permukaan terhadap luas permukaan dan volume partikel. Konsentrasi partikel mempengaruhi pilihan jenis tangki sedimentasi, dan suhu mempengaruhi viskositas dan berat. Jenis cairan pada semua faktor di atas mempengaruhi kecepatan. Kecepatan penurunan partikel untuk merancang kolam sedimentasi yang efektif efisien (A. Didit, 2008).

Efisiensi removal dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Skimmer yang ada pada bak pengendap I digunakan untuk tempat pelimpah lemak dan minyak yang mengambang (Tom D Reynold, 1996). Pada Gambar 2.22 dapat dilihat ilustrasi bak pengendap *rectangular*.



Gambar 2.22 Bak Pengendap *Rectangular*

2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

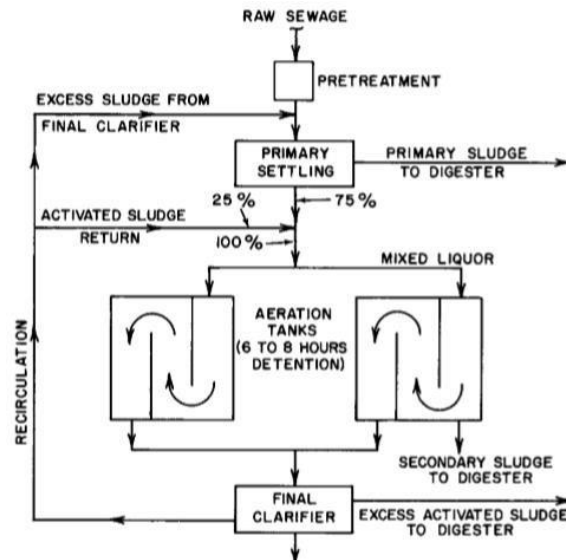
Pengolahan sekunder akan memisahkan koloid dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Pada pengolahan biologis dilakukan proses secara aerob maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD yaitu 60 - 90% serta TSS yaitu 40 - 90% (Syed R Qasim, 1985). Pengolahan sekunder merupakan

pengolahan untuk menghilangkan kandungan BOD dan zat tersuspensi maupun terlarut serta bahan koloid dalam air limbah melalui pemanfaatan aktivitas biologis organik mikroorganisme, dikonversi menjadi karbondioksida dan sel baru. Pengolahan sekunder meliputi Tricking filters, RBC (Rotating Biological Contactors), *Activated Sludge*, Aerasi berlanjut, dan Kolam atau Lagoon. (Spellman, 2003).

a) *Activated Sludge*

Proses lumpur aktif merupakan proses mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O, sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, secondary clarifier dan *recycle sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi, dan oksidasi bahan organik. Pengolahan lumpur aktif (*Activated Sludge*) untuk mengubah buangan organik menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi demetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO₂ dan H₂O sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi. Adapun proses didalam *Activated Sludge*, yaitu:

- a. Konvensional pada sistem konvensional terdiri dari tangki aerasi, *secondary clarifier* dan *recycle sludge*. Selama berlangsungnya proses terjadi absorpsi, flokulasi, dan oksidasi bahan organik. Pada Gambar 2.23 di bawah ini dapat dilihat diagram proses lumpur aktif secara konvensional.



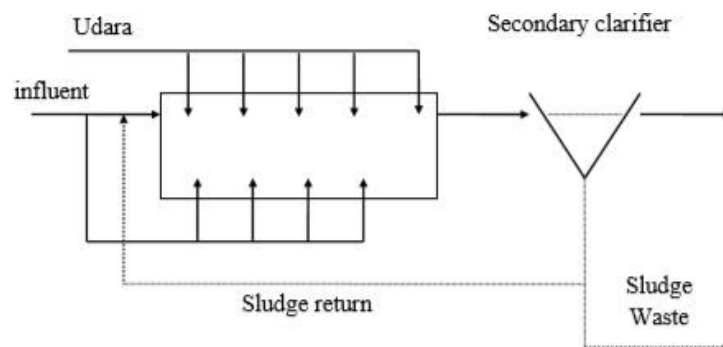
Gambar 2.23 Diagram Lumpur Aktif Konvensional

Sumber : Qasim, 1985

b. Non konvensional

- *Step aerasi*

Merupakan *type plug flow* dengan perbandingan F/M atau substrat dan mikroorganisme menurun menuju *outlet*. *Inlet* air buangan masuk melalui 3 - 4 titik ditangi aerasi dengan masuk untuk menetralkan rasio substrat dan mikroorganisme dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen titik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek. Berikut ini pada Gambar 2.24 dapat dilihat ilustrasi unit *step aeration*.



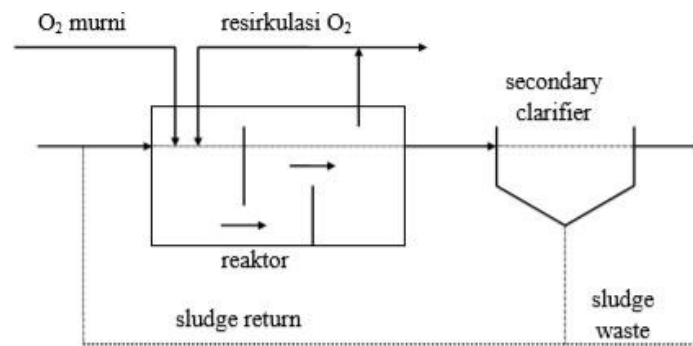
Gambar 2.24 Step Aeration

(Sumber: Djoko, B.M)

- Tapered Aerasi, hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara dititik awal lebih tinggi.

- Kontak Stabilisasi, pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :
 - *Contact tank* yang berfungsi untuk menyerap bahan organik untuk memproses lumpur aktif.
 - *Reaeration tank* yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorb (proses stabilisasi).

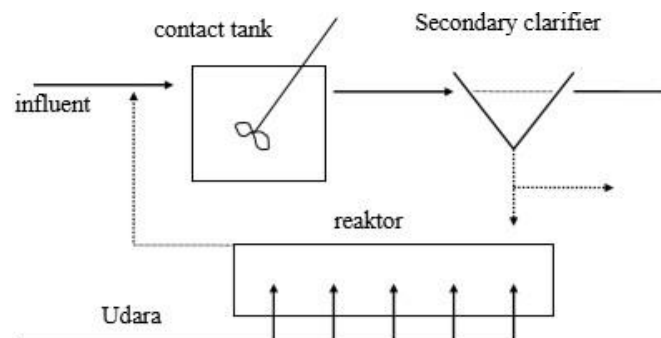
Berikut ini pada Gambar 2.25 dapat dilihat ilustrasi dari unit kontak stabilisasi.



Gambar 2.25 Kontak Stabilisasi

(Sumber: Djoko, B.M)

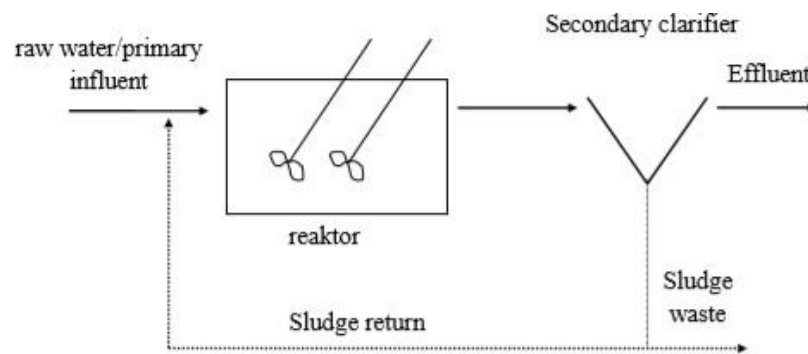
- *Pure Oxygen*, Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta *volumetric loading* tinggi dan waktu tinggal pendek. Berikut ini pada Gambar 2.26 dapat dilihat ilustrasi *pure oxygen*.



Gambar 2.26 Pure Oxygen

(Sumber: Djoko, B.M)

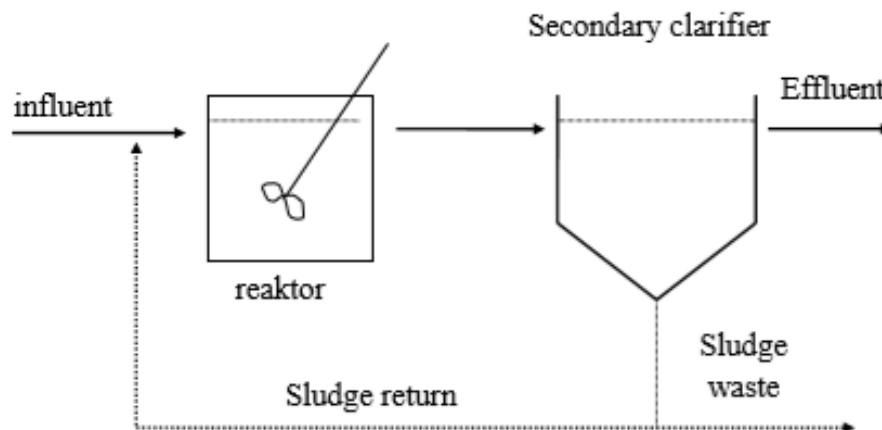
- *High Rate Aeration*, Kondisi ini tercapai dengan meningkatkan harga rasio resirkulasi, atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 - 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar. Pada Gambar 2.27 di bawah ini dapat dilihat ilustrasi dari *high rate aeration*.



Gambar 2.27 *High Rate Aeration*

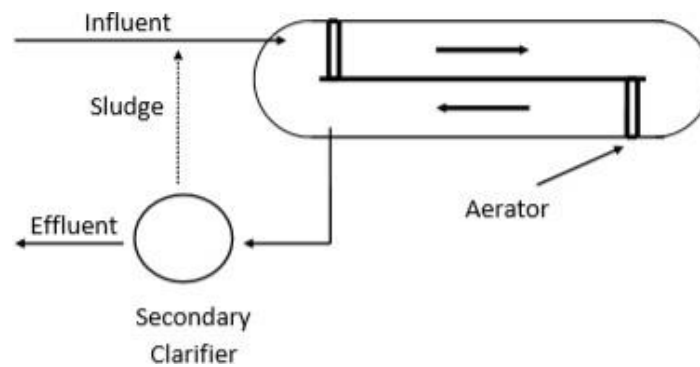
(Sumber: Djoko, B.M)

- *Extended Aeration*, Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan *time detention* (td) lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang atau dihasilkan akan lebih sedikit. Berikut ini pada Gambar 2.28 dapat dilihat ilustrasi dari *extended aeration*.



Gambar 2.28 *Extended Aeration*

- *Oxidation Ditch*, Berbentuk oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Berikut ini pada Gambar 2.29 menunjukkan ilustrasi dari *oxidation ditch*.



Gambar 2.29 *Oxidation Ditch*

Adapun parameter penting untuk desain *activated sludge* adalah :

- F / M ratio Merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antarasubstrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- Rasio resirkulasi (R) Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah.

b) Pengolahan dengan *Biofilm* macam-macam pengolahan dengan menggunakan *biofilm* :

a. Trickling filter

Trickling filter menurunkan beban organik yang terdapat dalam air buangan dengan cara mengalirkannya pada media yang permukaannya diselubungi oleh lumpur aktif sebagai biological film. Filter yang digunakan batuan-batuan, pasir, granit dan lain-lain dalam berbagai ukuran mulai dari diameter 3/4 in sampai dengan diameter 2,5 in. Proses yang terjadi adalah proses biologis yang memerlukan oksigen (aerobik).

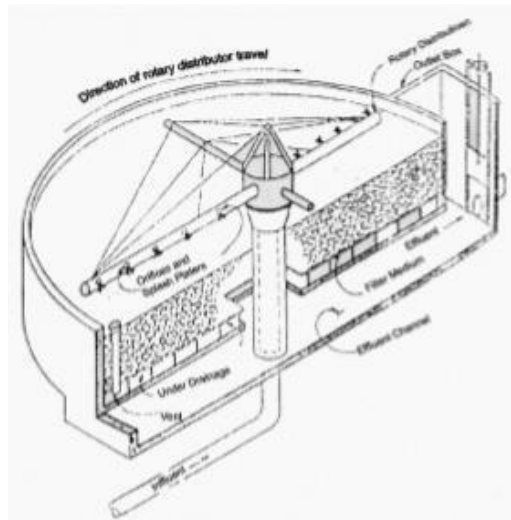
Cara kerja *Trickling filter* :

Air limbah dari pengolahan primer dialirkan masuk melalui pipa yang berputar diatas suatu lahan dengan media filter, beban organik yang ada dalam limbah disemprotkan diatas media, dan diuraikan oleh mikroorganisme yang menempel pada media filter. Bahan organik sebagai substrat yang terlarut dalam air limbah di absorpsi dalam biofilm antar lapisan berlendir.

Pada lapisan bagian luar biofilm, bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme aerobik. Pertumbuhan mikroorganisme mempertebal lapisan biofilm, oksigen yang terdifusi dapat dikonsumsi sebelum biofilm mencapai ketebalan maksimum. Pada saat mencapai ketebalan penuh maka oksigen tidak dapat mencapai penetrasi secara penuh, sehingga pada bagian dalam atau pada permukaan media akan berad pada kondisi anaerobik.

Pada saat lapisan biofilm mengalami penambahan ketebalan , dan bahan organik yang diabsorpsi dapat diuraikan oleh mikroorganisme namun tidak mencapai mikroorganisme yang berada pada permukaan media. Dengan kata lain tidak tersedia bahan organik untuk sel karbon pada bagian permukaan media, sehingga mikroorganisme sekitar permukaan media mengalami fase endogenous atau kematian.

Pada akhirnya mikroorganisme sebagai biofilm tersebut akan lepas dari media, cairan yang masuk akan ikut melepas atau mencuci dan mendorong biofilm keluar setelah itu lapisan biofilm baru akan segera tumbuh. Fenomena lepasnya biofilm dari media tersebut disebut *sloughing* dan hal ini fungsi dari beban organik dan beban hidrolis pada *trickling filter* tersebut. Air limbah didistribusikan pada bagian atas dengan satu lengan distributor yang dapat berputar. Filter juga dilengkapi dengan underdrain untuk mengumpulkan biofilm yang mati untuk kemudian diendapkan dalam bak sedimentasi. Bagian cairan yang keluar biasanya dikembalikan lagi ke *trickling filter* sebagai air pengencer air baku yang diolah. Berikut ini pada Gambar 2.30 dapat dilihat unit *trickling filter*.



Gambar 2.30 *Tricking Filter*

(Sumber: Djoko B.M)

b. *Rotating Biological Contactor (RBC)*

RBC menurunkan biomassa sebelum diendapkan pada bak pengendap dengan cara yaitu RBC yang terdiri dari suatu piringan seri berbentuk lingkaran yang terbuat dari bahan PVC, disusun secara vertikal dengan menghubungkan satu sama lain dengan satu sumbu, sehingga piringan tersebut dapat berputar. Sebagian piringan tersebut tercelup dalam air limbah yang diolah dimana akan tumbuh biofilm dan menempel pada permukaan piringan dalam bentuk lendir.

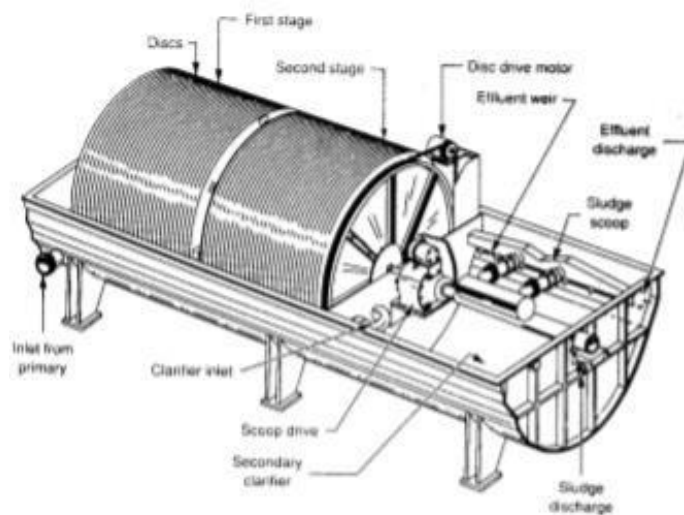
Pada saat berputar bagian piringan yang tercelup air akan menguraikan zat organik yang terlarut dalam air, sedangkan pada saat kontak dengan udara, biomassa akan mengabsorpsi oksigen sehingga tercapai kondisi aerobik dan biomassa yang berlebihan akan terbawa keluar.

Keuntungan RBC :

- 1) Waktu kontak yang tidak terlalu lama, biasanya kurang lebih 1 jam karena luas permukaan besar.
- 2) Dapat mengolah air limbah pada kisaran kapasitas yang besar, lebih dari 1000 gal/hari sampai kurang lebih 100.000 gal/hari.
- 3) Tidak diperlukan recycle.

- 4) Biomassa yang terlepas (sloughing) mudah dipisahkan dari air yang sudah diolah.
- 5) Biaya operasi cukup murah karena tidak diperlukan keahlian khusus untuk operatornya.

Berikut ini pada Gambar 2.31 dapat dilihat ilustrasi unit *rotating biological contactor*.



Gambar 2.31 *Rotating Biological Contactor*

(Sumber : Djoko B. M)

c) Pengolahan dengan Kolam Aerobik

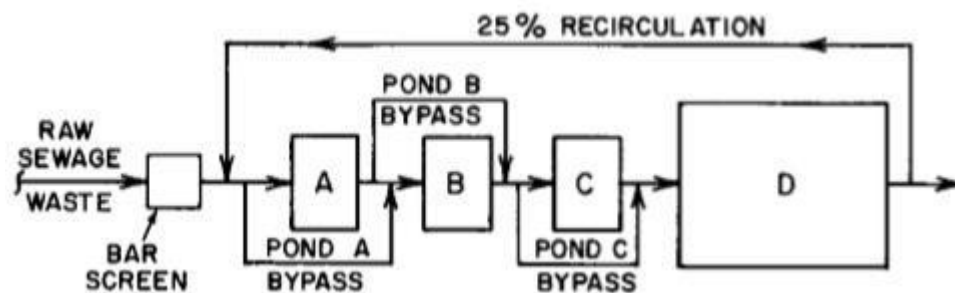
a. *Aerobic Lagoon*

Aerobic Lagoon adalah salah satu bentuk pengolahan biologis yang sederhana. Kolam stabilisasi secara biologis akan membutuhkan area yang luas dengan kedalaman yang dangkal. Dengan kolam semacam ini maka kondisi aerobik akan terpelihara dengan adanya alga dan bakteri. Kolam stabilisasi secara aerobik mengandung bakteri dan *algae* dalam kondisi aerobik disepanjang kedalaman. Ada dua tipe pengolahan:

- *Aerobic Lagoon*, yaitu tipe *high rate* yaitu dengan memaksimalkan produksi *algae*, pada kedalaman *lagoon* sekitar 15 – 45 cm.

- Tipe yang kedua biasanya disebut sebagai *oksidation* atau *stabilisation lagoon*, dengan cara memaksimalkan konsentrasi oksigen yang dihasilkan, kedalaman *lagoon* sampai 1,5m. Untuk mencapai hasil terbaik, *lagoon* diaduk secara periodik dengan pompa atau *surface aeration*.

Prinsip pengolahan ini adalah, bahan organik yang terlarut dalam air dioksidasi oleh bakteri aerobik dan fakultatif dengan menggunakan oksigen yang dihasilkan oleh algae yang tumbuh disekitar permukaan air. Berikut ini pada Gambar 2.32 dapat dilihat ilustrasi dari *aerobic lagoon*.

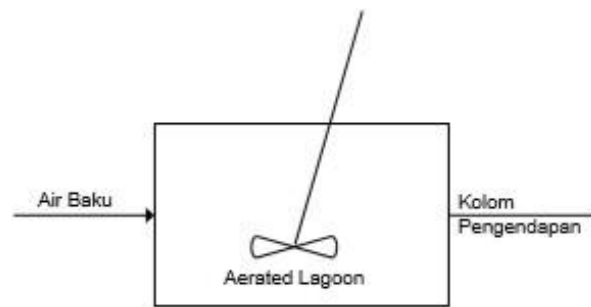


Gambar 2.32 *Aerobic Lagoon*

(Sumber: Djoko, B.M.)

b. *Aerated Lagoon*

Aerated lagoon merupakan pengembangan dari *Aerobic Lagoon* yaitu dengan memasang *surface aerator* untuk mengatasi bau dan beban organik yang tinggi. Pada proses *aerated lagoon* pada prinsipnya sama dengan *extended aeration* pada proses lumpur aktif, perbedaannya terletak pada kedalaman air yang dangkal dan oksigen diperoleh dari *surface aerator* atau *diffuser aerator*. Dalam *aerated lagoon* semua zat padat dipertahankan dalam keadaan tersuspensi. Berikut ini pada Gambar 2.33 dapat dilihat ilustrasi dari unit *aerated lagoon*.



Gambar 2.33 Aerated Lagoon

(Sumber: Djoko, B.M)

Pada sistem ini tanpa dilakukan dan biasanya diikuti dengan kolam pengendapan yang besar.

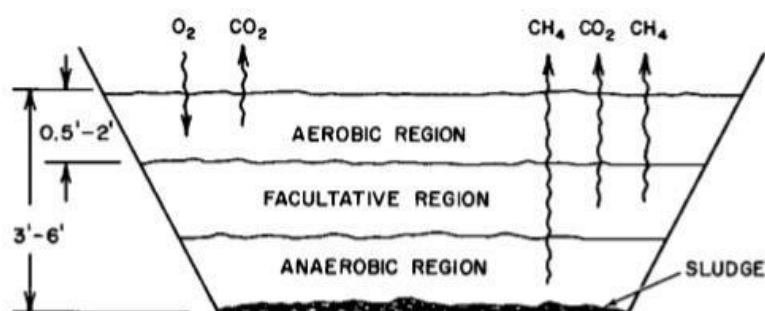
c. Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif merupakan kolam dengan kedalaman 1 – 2,5 meter. Pada kolam ini kedalaman air terbagi menjadi tiga zona yaitu zona aerobik di bagian atas, zona fakultatif di bagian tengah, dan zona anaerobik di bagian bawah atau dasar kolam. Proses penurunan BOD atau organik COD terjadi karena adanya aktivitas reaksi simbiosis antara *algae* dan bakteri.

Algae yang menempati bagian atas akan melakukan fotosintesis pada siang hari, sebagai hasilnya produksi oksigen yang cukup tinggi terjadi pada siang hari. Oksigen terlarut yang dihasilkan akan dimanfaatkan oleh bakteri aerob untuk proses penguraian zat organik dalam air buangan (sebagai BOD). Pada bagian ini terjadi proses biologi secara aerobik (*full aerobic*), dan pada bagian ini juga dimungkinkan terjadinya proses nitrifikasi. CO₂ yang dihasilkan oleh bakteri akan digunakan oleh *algae* sebagai sumber karbon pada proses fotosintesis.

Pada lapisan kedua jumlah oksigen relatif lebih sedikit. Hal ini disebabkan berkurangnya *algae* atau cahaya matahari yang masuk ke lapisan ini. Kondisi yang ada adalah antara aerobik dan anaerobik. Pada siang hari mendekati aerobik dan pada malam hari cenderung anaerobik sehingga disebut sebagai kondisi fakultatif. Bakteri yang berperan dinamakan bakteri fakultatif.

Pada lapisan di atas dasar kolam terjadi proses anaerobik atau tanpa adanya oksigen. Zat padat yang mudah mengendap atau mikroorganisme yang mati akan mengendap di dasar kolam. Pada kondisi demikian terjadi dekomposisi zat organik secara anaerobik dan dihasilkan gas-gas CO_2 , NH_3 , H_2S , dan CH_4 . Proses denitrifikasi juga dimungkinkan terjadi di zona ini. Berikut ini pada Gambar 2.34 dapat dilihat ilustrasi dari unit kolam fakultatif



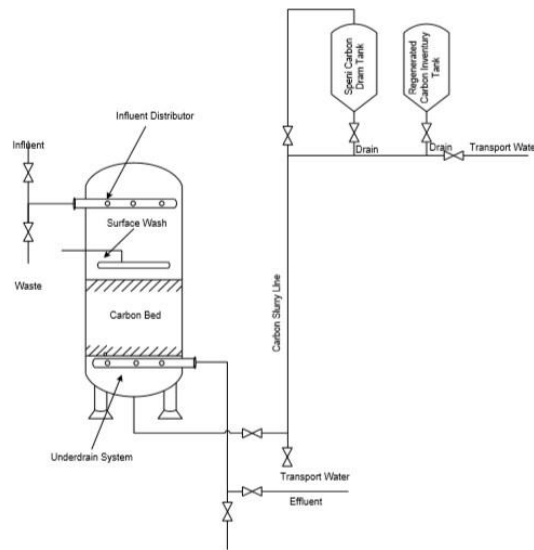
Gambar 2.34 Kolam Falkutatif

(Sumber: Djoko, B.M)

d) Pengolahan Anaerobik

a. *Fixed Bed Reactor*

Prinsip operasi dari *fixed bed reactor* adalah air limbah yang dapat menuju keatas (*up flow*) ataupun kebawah (*down flow*) melalui suatu kolam yang terisi media pendukung. Permulaan media tersebut berfungsi untuk menempel mikroba dan menangkap flok yang tidak bisa menempel. Mikroba yang menempel bertanggung jawab dalam proses stabilisasi air limbah. Pada saat awal proses perlu seeding dengan merendam media filter di dalam sptictank. Suatu saat biofilm akan menempel sehingga terjadi *clogging* oleh karena itu perlu dilakukan penggelontoran. Apabila *carbon bed* sudah jenuh maka *carbon bed* akan digantikan dengan yang baru. Berikut ini pada Gambar 2.35 dapat dilihat ilustrasi dari *fixed bed reactor*.



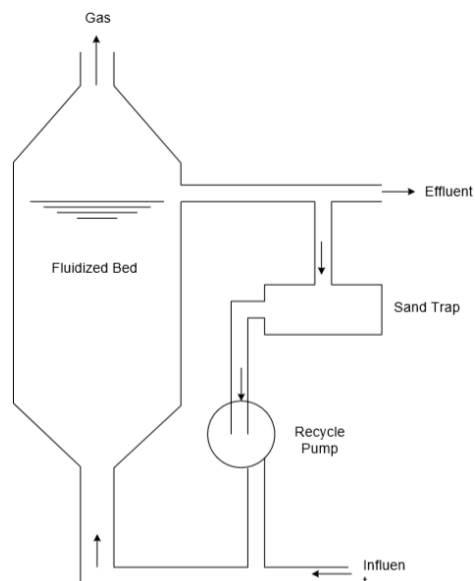
Gambar 2.35 Fixed Bed Reactor

(Sumber: Djoko, B.M)

b. *Fludized Bed Reactor*

Merupakan reaktor dengan media pasir yang dialiri air limbah dengan debit tertentu. Pada reaktor ini banyak biomassa menempel padamedia yang berukuran kecil sebagai biofilm. Biomassa yang menyelimuti partikel media berada pada kondisi terekspansi bergerak melayang- layang atau terfluidasi secara vertikal dengan aliran keatas (*upflow*).

Besarnya kecepatan partikel dicapai dengan mengatur besarnya tingkat resirkulasi. Ukuran dan densitas dari media merupakan penentu dari kestabilan sistem operasi dan ekonomis tidaknya reaktor. Dalam reaktor ini tidak ada injeksi oksigen sehingga reaktor dalam keadaan tertutup. Berikut ini pada Gambar 2.36 dapat dilihat ilustrasi dari unit *fludized bed reactor*.



Gambar 2.36 *Fluidized Bed Reaktor*

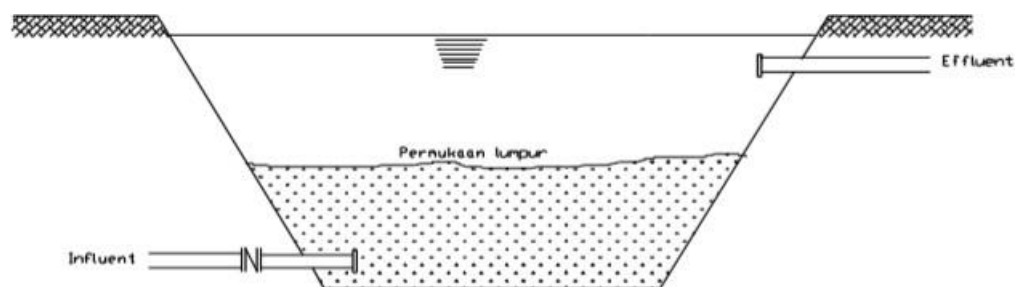
(Sumber: Djoko, B.M)

c. *AnAerobic Lagoon*

Pada *anAerobic Lagoon* kedalaman air dapat mencapai 6 meter. Kondisi anaerobik dapat dicapai dengan memberikan beban organik yang tinggi sehingga terjadi deoksigenisasi, adanya lapisan *scum* (busa) pada permukaan air kolam berguna untuk mencegah masuknya oksigen dari atmosfer. Pada kondisi ini bahan organik akan mengalami stabilisasi yang merupakan hasil kerja bakteri anaerobik thermophilik dengan proses *digestion*.

Proses pengolahan yang terjadi analog dengan *single stage anaerobic digestion* dimana asam organik dibentuk oleh bakteri dengan memecah organik kompleks. Selanjutnya asam yang terbentuk diubah menjadi gas *methane*, gas karbon dioksida, sel dan produk lain yang stabil. Air baku yang diolah bercampur di bagian bawah, hal ini dicapai dengan cara melakukan pemasangan pipa inlet di bagian dasar kolam menuju ke tengah kolam. Pipa *inlet* dalam keadaan terbenam pada kolam. Bahan yang mudah mengapung seperti minyak, lemak dan zat padat yang ringan akan berada di bagian permukaan air dan biasanya menutupi seluruh permukaan air. Dengan demikian panas yang dihasilkan di seluruh kedalaman kolam dapat dipertahankan. Pada tipe ini tidak diperlukan pemanasan, equalisasi, mixing, maupun sirkulasi lumpur.

Keutamaan dari pengolahan jenis adalah mempunyai kemampuan mengolah dengan beban yang tinggi serta tahan terhadap perubahan debit dan kualitas air limbah (*shock loading*). Untuk mencegah terjadinya perembesan air limbah pada dinding dan dasar kolam dapat dipasang lapisan kedap air (misal: plastik, *clay*). Berikut ini pada Gambar 2.37 dapat dilihat ilustrasi dari anaerobic lagoon.



Gambar 2.37 Anaerobic Lagoon

(Sumber: Djoko, B.M)

d. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)

Pada prinsipnya reaktor UASB terdiri dari lumpur padat yang berbentuk butiran. Lumpur atau *sludge* tersebut ditempatkan dalam suatu reaktor yang didesain dengan aliran ke atas. Air limbah mengalir melalui dasar bak secara merata dan mengalir secara vertikal, sedangkan butiran *sludge* akan tetap berada atau tertahan dalam reaktor. Karakteristik pengendapan butiran *sludge* dan karakteristik air limbah akan menentukan kecepatan *upflow* yang harus dipelihara dalam reaktor. Biasanya kecepatan aliran ke atas berada pada rentang 0,5 – 0,3 m/jam. Untuk mencapai formasi *sludge blanket* yang memuaskan, pada saat kondisi hidrolis puncak (debit puncak) kecepatan dapat mencapai antara 2 – 6 m/jam.

Gas yang terperangkap dalam butiran *sludge* sering mendorong *sludge* tersebut ke bagian atas reaktor, yang disebabkan oleh berkurangnya densitas butiran. Untuk itu diperlukan pemisahan butiran *sludge* di luar reaktor dan kemudian dikembalikan lagi ke dalam reaktor. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat *gas-solid-liquid separator* yang ditempatkan di bagian atas reaktor.

Gas yang terbentuk dapat ditampung dalam separator tersebut dan sludge dikembalikan lagi ke reaktor.

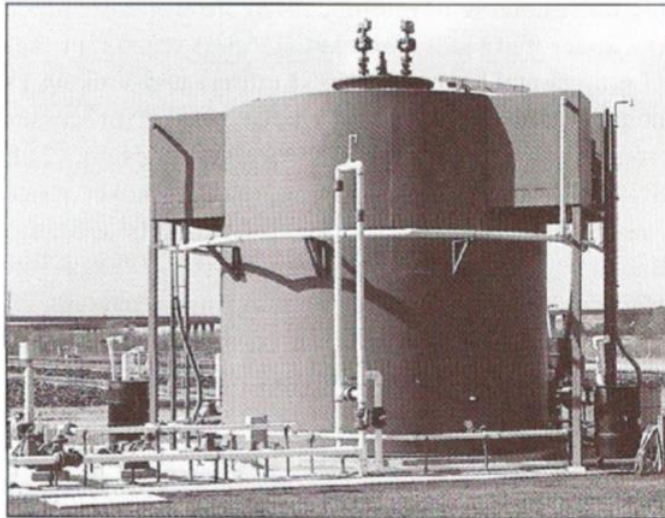
Masalah yang dihadapi pada UASB terutama adalah *sludge* yang bergerak naik yang disebabkan oleh turunnya densitas *sludge*. Disamping itu juga turunnya aktivitas spesifik butiran. Beragamnya densitas *sludge* memberikan ketidakseragaman *sludge blanket* sehingga sebagai akibatnya sludge akan ikut keluar reaktor.

Tingginya konsentrasi *suspended solid* dan *fatty mineral* dalam air limbah juga merupakan masalah operasi yang serius. *Suspended solid* dapat menyebabkan penyumbatan (*clogging*) atau *channeling*. Adsorpsi *suspended solid* pada *sludge* juga akan mempengaruhi proses dan air limbah yang mengandung protein atau lemak menyebabkan pembentukan busa.

Keuntungan :

- a. Kebutuhan energi rendah
- b. Kebutuhan lahan sedikit
- c. Biogas berguna
- d. Kebutuhan nutrien sedikit
- e. Sludge mudah diolah/dikeringkan
- f. Tidak mengeluarkan bau dan kebisingan
- g. Mempunyai kemampuan terhadap fluktuasi dan *intermittent load*

Berikut ini pada Gambar 2.38 dapat dilihat ilustrasi dari unit *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*.



Gambar 2.38 *Upflow Anaerobik Sludge Blanket*

(Sumber: Djoko, B.M)

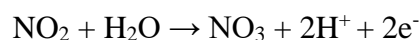
e. Biofilter Anaerob – Aerob

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 CO_2 , air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), 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, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

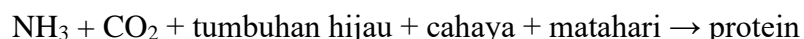
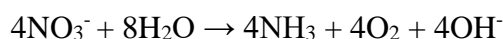
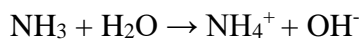
Instalasi pengolahan limbah cair anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan proses biofilter aerob, dengan menggunakan biofilter ini polutan organik yang ada di air limbah akan terurai menjadi karbondioksida dan metana tanpa menggunakan energi (blower udara) tetapi amoniak, dan gas hidrogen sulfida (H_2S) tidak hilang, namun polutan organik dalam bentuk BOD dan COD serta padatan

tersuspensi (TSS) dapat diturunkan. Agar, air olahan dapat memenuhi baku mutu, limbah kemudian diolah menuju biofilter aerob dimana terjadi proses menjadi karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O), amoniak menjadi nitrit, selanjutnya menjadi nitrat, sedangkan gas H₂S akan dirubah menjadi sulfat. Biofilter ini menggunakan konsumsi energi yang cukup rendah dan dapat mengolah air limbah domestik sehingga kualitasnya cukup baik (Said, 2017).

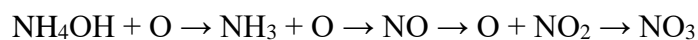
Berdasarkan penelitian Salamah, (2021) biofilter anaerob tidak efektif dalam menurunkan NH₃-N karena efisiensi removalnya hanya 32 – 34% dimana konsentrasi NH₃-N semakin meningkat seiring berjalannya waktu tinggal. Terjadinya proses nitrifikasi pada kondisi aerobik dengan adanya perubahan nitrogen organik menjadi nitrat dengan melibatkan mikroorganisme dalam kondisi aerobik. Berikut ini reaksi kimia proses nitrifikasi yang terjadi pada biofilter aerobik.



Nitrogen amonia berada dalam air sebagai ammonium (NH₄⁺)

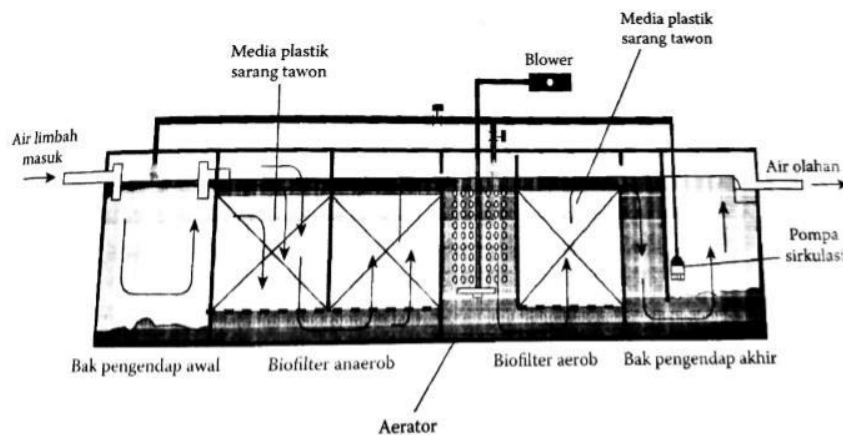


Reaksi Amonia Nitrogen (NH₃-N)



Instalasi pengolahan limbah cair domestik anaerob-aerob, terdiri atas bak ekualisasi, bak pengendap awal, biofilter anaerob dan aerob, bak pengendap akhir, bak kontrol, dan saluran akhir. Dengan skema proses antara lain, Air limbah domestik dialirkan masuk ke bak pengumpul atau bak ekualisasi, selanjutnya dari bak ekualisasi kemudian dipompa ke bak pengendap awal, untuk mendapatkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik tersuspensi. (Said,

2017). Berikut ini pada Gambar 2.39 menunjukkan gambaran biofilter anaerob - aerob.



Gambar 2.39 Biofilter Anaerob-Aerob

(Sumber: Said, 2017)

Bak pengendap berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, pengurai lumpur, dan penampung lumpur. (Said, 2017)

Air limpasan kemudian menuju biofilter anaerob, di dalamnya mengandung biofilter plastik dimana bakteri melekat, biofilter ini terdiri atas dua ruangan. Penguraian organik dilakukan oleh bakteri anaerobik dan fakultatif. Kemudian aliran menuju ke reaktor biofilter aerob, dimana dilakukan kontak aerasi pada media biofilter sehingga tumbuh mikroorganisme melekat sehingga dapat mempercepat penguraian komponen organik air limbah.

Dari bak aerasi air dialirkan menuju ke bak pengendap akhir sebagian diresirkulasi pada inlet bak aerasi, sedang air limpasan dialirkan ke bak biokontrol. (Said, 2017)

Beberapa keunggulan instalasi pengolahan ini antara lain :

- Pengelolaannya mudah
- Tidak perlu lahan yang luas
- Biaya operasi rendah
- Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur lebih sedikit

- Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor, yang dapat menyebabkan eutrofikasi
- Suplai udara untuk aerasi sedikit
- Dapat digunakan untuk limbah dengan beban BOD yang cukup besar
- Dapat menghilangkan *Suspended Solid* cukup baik

i. Kriteria Biofilter Anaerob-aerob

Kriteria yang perlu diperhatikan dalam penggunaan biofilter anaerob-aerob, antara lain meliputi: (Said, 2017)

- Pemilihan Media Biofilter

Media biofilter merupakan hal penting dari biofilter karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses dan jenis air limbah yang akan diolah. Ada beberapa kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Mempunyai luas permukaan spesifik yang besar
2. Mempunyai fraksi volume rongga tinggi
3. Diameter celah bebas besar
4. Tahan terhadap penyumbatan
5. Dibuat dari bahan inert
6. Harga per unit luas permukaan ekonomis
7. Mempunyai kekuatan mekanik yang baik
8. Ringan
9. Fleksibilitas
10. Pemeliharaan dan perawatan mudah
11. Kebutuhan energi yang kecil dan reduksi cahaya
12. Sifat kebasahan

- Jenis Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur, bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon. Sedangkan dari media anorganik dapat

berupa batu pecah, kerikil, marmer, batu tembikar, batu bara, dan lain. Jenis media biofilter antara lain : (Said, 2017)

- Batuan dan kerikil
- *Fiber mesh pads*
- *Brilio pads*
- *Random dan dumped packing*
- Media terstruktur

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter aerobik ini dapat dilihat pada Tabel 2.8 antara lain sebagai berikut.

Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan sistem <i>upflow</i> .
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), deterjen, ammonium, dan fosfor.	Mebutuhkan waktu picu (<i>starter time</i>) yang lebih lama.
Pengelolaan, <i>maintenance</i> yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli.	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan.
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas.	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (<i>grease</i>)
Dibandingkan dengan unit <i>activated sludge</i> , lumpur yang dihasilkan lebih sedikit.	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor.	

(Sumber: Kaswinarni, 2007)

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. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel 2.9 berikut (Said, 2005):

Tabel 2.9 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1	<i>Trickling filter</i> dengan batu pecah	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)

Adapun kriteria perencanaan untuk unit biofilter anaerob dan aerob pada instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut.

a) Biofilter Anaerobic

- Waktu tinggal (td) = >6 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 – 1,5 m
- Beban BOD/volume media = 0,4 – 4,7 kg BOD/m³.hari
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m².hari

(Sumber: Said, N.I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi*. Halaman: 302. Jakarta: Erlangga)

- Media Biofilter yang digunakan
 - a) Tipe = *Hexagonal Bee Comb* (Sarang Tawon)
 - b) Material = Sarang tawon
 - c) Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
 - d) Luas kontak spesifik = 150 – 226 m²/m³

- e) Diameter lubang = $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$
- f) Berat spesifik = $30 - 35 \text{ kg/m}^3$
- g) Porositas rongga = $0,98$

(Sumber: Said, N.I. (2018). *Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi*. Halaman: 305. Jakarta: Erlangga)

b) Biofilter Aerobic

- Waktu tinggal (td) = $2 - 6 \text{ jam}$
- Tinggi ruang lumpur = $0,5 \text{ m}$
- Beban BOD/volume media = $0,5 - 4 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$
- Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = $5 - 30 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}$
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = $1,2 \text{ m}$
- Media Biofilter
 - a) Tipe = *Hexagonal Bee Comb* (Sarang Tawon)
 - b) Material = PVC Sheet
 - c) Ketebalan = $0,15 - 0,23 \text{ mm}$
 - d) Luas kontak spesifik = $150 - 226 \text{ m}^2/\text{m}^3$
 - e) Diameter lubang = $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$
 - f) Berat spesifik = $30 - 35 \text{ kg/m}^3$
 - g) Porositas rongga = $0,98$

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

- Blower
 - a) Densitas udara = $1,2 \text{ kg/m}^3$
 - b) Berat aliran udara (w) = $85 - 1700 \text{ m}^3/\text{menit}$
 - c) Tekanan absolut (P2) = $25 \text{ lb/in}^2 = 1,7 \text{ atm}$
 - d) Tekanan absolut inlet (P1) = $14,7 \text{ lb/in}^2 = 1 \text{ atm}$

(Sumber: Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engginering: Treatment, Disposal, and Reuse*. Mc Graw Hill Inc. New York. Hal 440)

- e) Konstanta udara = $8,314 \text{ kJ/mol.K}$
- f) K = $1,395$

$$\begin{aligned} \text{g) } N &= \frac{(k-1)}{k} \\ N &= \frac{(1,395-1)}{1,395} \\ &= 0,28 \end{aligned}$$

$$\text{h) Efisiensi (e)} = 70 - 90\%$$

(Sumber: Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engginering: Treatment, Disposal, and Reuse*. Mc Graw Hill Inc. New York. Hal 440)

- F/M ratio = 0,25 – 0,5 kg BOD/kg MLVSS.d
- Hydraulic Detention Time (HDT) = 6 – 8 jam
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 6)
- VSS/SS Ratio = 0,7 – 0,85
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 21)
- Particulate BOD = 0,45 – 0,65 mg BOD₅/mg TSS
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 29)
- Yield Coefficient (Y) = 0,5 - 0,7 gr VSS/gr BOD₅ removed
- Endogenous Respiration Coefficient (K_d) = 0,06 - 0,10 gr VSS/gr VSS.d
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 20)
- Standard oxygenation efficiency = 1,8 kg O₂/kW.jam
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 66)
- Konsentrasi MLVSS (X_v) = 1500 - 3500 mg/L
- Konsentrasi MLSS (X) = 2000 - 4000 mg/L
- Biodegradable fraction of VSS (f_b) = 0,55 – 0,77
- Effluent soluble BOD = 5 – 20 mg/L
(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 69)

- Kebutuhan O₂ = 0,8 – 0,94 kg O₂/kg BOD removed
(Sumber: *Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, hal 205)

Adapun rumus-rumus yang dapat digunakan untuk menghitung dalam merencanakan unit biofilter anaerob – aerob sebagai berikut.

a) Biofilter Anaerobic

- Beban BOD di dalam air limbah

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

Keterangan :

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

- Volume media diperlukan

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

- Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor (Td)

$$T_d = \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{Debit Air Limbah}}$$

Keterangan :

$$\text{Volume} = \text{volume air limbah (m}^2/\text{detik)}$$

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

- BOD Loading per Volume Media

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

- BOD Loading (jika media memiliki luas spesifik 150 m²/m³)

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD Loading per Volume Media}}{\text{Luas Spesifik Media}}$$

- Produksi Sludge

- a) Beban COD yang diterima setiap unit

$$\text{Beban COD} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent COD}$$

- b) Beban COD lumpur

$$\text{Beban COD lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan COD} \times \text{Beban COD}$$

- c) Beban BOD yang diterima

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent BOD}$$

d) Beban BOD lumpur

$$\text{Beban BOD lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan BOD} \times \text{Beban BOD}$$

e) Beban TSS diterima

$$\text{Beban TSS} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent TSS}$$

f) Beban TSS lumpur

$$\text{Beban TSS lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan TSS} \times \text{Beban TSS}$$

g) Volume lumpur biofilter anaerob

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban COD lumpur} + \text{Beban BOD lumpur} + \text{Beban TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Debit Pengurasan Lumpur (Qp)

$$Q_p = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

Keterangan :

Qp = volume lumpur (m²)

t = waktu (detik)

- Luas permukaan pipa outlet

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

Keterangan :

A = luas permukaan (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

V = kecepatan aliran (m/detik)

- Diameter pipa outlet

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

b) Biofilter Aerobic

- Beban BOD di dalam air limbah

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

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

- Volume media diperlukan

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

- Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor (T_d)

$$T_d = \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{Debit Air Limbah}}$$

Keterangan :

T_d = waktu detensi (detik)

Volume = volume reaktor (m^3)

Q = debit air limbah (m^3/detik)

- BOD Loading per Volume Media

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

Keterangan :

BOD per volume = BOD per volume ($\text{kg BOD}/m^3 \cdot \text{hari}$)

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

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD Loading per Volume Media}}{\text{Luas Spesifik Media}}$$

- Produksi Sludge

- a) Beban COD yang diterima setiap unit

$$\text{Beban COD} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent COD}$$

- b) Beban COD lumpur

$$\text{Beban COD lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan COD} \times \text{Beban COD}$$

- c) Beban BOD yang diterima

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent BOD}$$

- d) Beban BOD lumpur

$$\text{Beban BOD lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan BOD} \times \text{Beban BOD}$$

- e) Beban TSS diterima

$$\text{Beban TSS} = \text{Debit influent} \times \text{Konsentrasi influent TSS}$$

- f) Beban TSS lumpur

$$\text{Beban TSS lumpur} = \text{Efisiensi penyisihan TSS} \times \text{Beban TSS}$$

- g) Volume lumpur biofilter anaerob

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur} + \text{Beban BOD lumpur} + \text{Beban TSS lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

- Debit Pengurasan Lumpur (Q_p)

$$Q_p = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

Keterangan :

Q_p = debit pengurasan (m^3/detik)

Volume = volume lumpur (m^3)

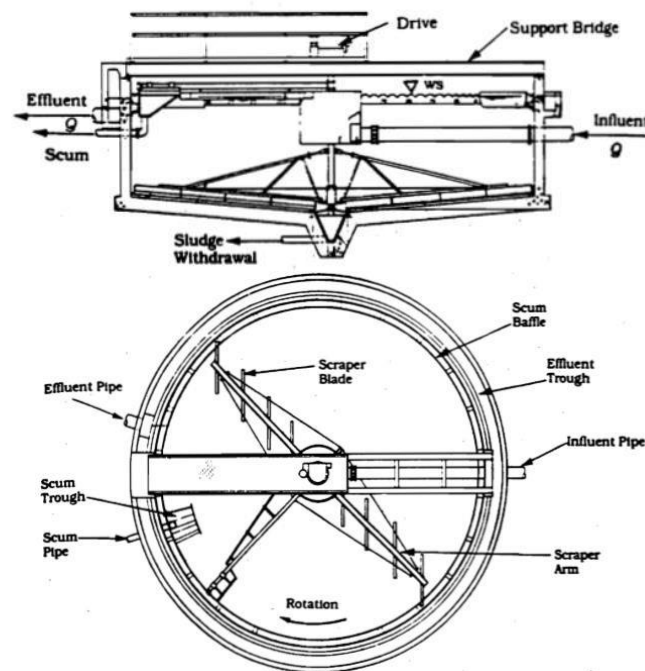
t = waktu pengurasan (detik)

2.3.4 Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

a) Bak Pengendap II (*Clarifier*)

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk *vee* (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga sludge terkumpul pada masing – masing *vee* dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang blades.

Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah *clarifier*.. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi. 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 ini pada Gambar 2.40 dapat dilihat desain unit bak pengendap II.



Gambar 2.40 Clarifier

(Sumber: Metcalf & Eddy, 1979)

Adapun kriteria perencanaan unit clarifier pada instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut.

a) Zona Settling

- *Over Flow Rate (OFR)*

Average = 30 – 50 m³/m².hari

Peak = 70 – 130 m³/m².hari

(Sumber: Qasim. (1985). *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

- Bentuk bak clarifier = Lingkaran (*circular*)
- Kedalaman bak (H) = 3 – 4,9 m
- Diameter bak (D) = 3 – 60 m
- Slope dasar bak (S) = 1/16 – 1/6 mm/mm
- *Flight speed* = 0,02 – 0,05 m/menit

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, halaman 398)

- Waktu tinggal (td) = 0,6 – 3,6 jam
(Sumber: Qasim. (1985). *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)
- Weir loading rate = 125 – 500 m³/m².hari
(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, halaman 401)
- Diameter inlet well = 15% - 20% diameter bak
- Ketinggian inlet well = 0,5 – 0,7 m
- Kecepatan inlet well = 0,3 – 0,75 m/detik
(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, halaman 401)
- Konsentrasi solid = 4% - 12%
- Massa jenis air (ρ), T 28°C = 996,36 kg/m³
- Viskositas kinematis (ν) = 0,8746 x 10⁻⁶ m²/s
- Viskositas dinamik (μ) = 0,8746 x 10⁻³ N.s/m²
(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)
- Dimensi
 - Diameter (D) = 3 – 60 m
 - Kedalaman (H) = 3 – 6 m
 (Sumber: Qasim. (1985). *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)
- Bilangan Reynold (NRe) untuk Vs = <1 (laminar)
(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 224. Boston: PWS Publishing Company)
- Bilangan Reynold (NRe) untuk Vh = <2000 (aliran laminar)
- Bilangan Froud (NFr) = >10⁻⁵

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

- Spesifik Gravity Suspended Solid = 1,3 – 1,5

- Specific Gravity Sludge (Sg) = 1,005

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

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc.. Halaman 411)

- Slope kearah Zona Sludge = 40 – 100 m/m

(Sumber: Qasim (1985). Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)

- Cek Nre Partikel < 0,5

- Syarat terjadinya pengendapan = (Tp<Td)

- Syarat terjadinya penggerusan = (Vsc>Vh)

- Suhu air buangan 30°C, sehingga

Kinematic Viscosity (ν) = 8,039 x 10⁻⁶ m/detik

Absolute Viscosity (μ) = 0,8004 x 10⁻³ m/detik

Massa jenis (ρ) = 995,7 kg/m³

(Sumber: Appendix C (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edittion. PWS Publishing Company. Halaman 762)

- Koefisien Manning (n) = 0,012 – 0,016 (untuk bahan beton)

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, Halaman 101)

- Kontrol penggerusan

Faktor kisi porositas (β) = 0,05

Faktor friksi hidrolis (λ) = 0,03

(Sumber: Huisman, L., 1977. Sedimentation and Flotation Mechanical

Filtration. Delft University of Technology. Delft. hal 57)

b) Zona Lumpur

- Massa jenis air suhu 30°C (ρ) = 995,7 kg/m³
(Sumber : Reynolds, Tom D. & Paul A. Richads (1996). *Unit Operation and Process in Environmental Engineering Second Edition. Hal 762*).
- Massa jenis sludge (ρ_s) = 2650 kg/m³
(Sumber : (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428*)
- Spesifik Gravity Suspended Solid = 1,3 – 1,5
(Sumber :(Metcalf & Eddy, 2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc.. Halaman 411*)

Adapun rumus-rumus perhitungan dalam perencanaan clarifier sebagai berikut.

a) Zona Settling

- Luas permukaan saluran

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

OFR = *over flow rate* (m³/m².detik)

- Dimensi bak

$$D = \left(\frac{4 \times A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan :

D = diameter bak (m)

A = luas permukaan (m²)

- Cek luas permukaan aliran

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

Keterangan :

A = luas permukaan (m²)

D = diameter bak (m)

- Kedalaman bak (H)

$$H = \frac{Q \times Td}{A}$$

Keterangan :

H = kedalaman bak (m)

Q = debit air limbah (m³/detik)

Td = waktu detensi (detik)

A = luas permukaan saluran (m²)

- Kecepatan pengendapan (Vs)

$$Vs = \frac{h}{td}$$

Keterangan :

Vs = kecepatan pengendapan (m/detik)

h = kedalaman bak (m)

td = waktu detensi (detik)

- Kecepatan horizontal (Vh)

$$V_h = \frac{D}{td}$$

Keterangan :

V_h = kecepatan horizontal (m/detik)

D = diameter bak (m)

Td = waktu detensi (detik)

- Jari-jari hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

D = diameter bak (m)

- Diameter partikel (Dp)

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

- Cek bilangan Reynold (Nre partikel)

$$Nre = \frac{Dp \times Vs}{\mu}$$

- Cek bilangan Reynold zona settling (Nre)

$$Nre = \frac{vh \times r}{\mu}$$

- Cek bilangan Freud (NFr)

$$Nfr = \frac{vh}{\sqrt{g \times h}}$$

- Cek penggerusan (Vsc)

$$Vsc = \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\gamma} \right) \times (Ss - 1) \times g \times Dp \right]^{\frac{1}{2}}$$

b) Zona Inlet

- Diameter inlet wall (DIW)

$$DIW = 20\% \times \text{Diameter bak}$$

- Luas permukaan (A)

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

- Kecepatan air di inlet awal (V')

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

Keterangan :

V' = kecepatan air di inlet awal (m/detik)

Q = debit air limbah (m³/detik)

A = luas permukaan saluran (m²)

c) Zona Thickening

- Total massa solid dalam pengolahan biologi

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

- Total massa solid bak sedimentasi akhir (clarifier)

$$P = \% \text{Biological} \times \text{Total massa solid pada bak biologi}$$

- Kedalaman zona thickening

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

d) Zona Lumpur

- Removal TSS (output Clarifier menuju SDB)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - 70\%))$$

- Total lumpur yang terkumpul (T_L)

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

- 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

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

- Berat air

$$\text{Berat air} = \text{Volume air} \times \text{Berat jenis air}$$

- Volume solid

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

- Berat solid

$$\text{Berat solid} = \text{Volume solid} \times \text{Berat jenis solid}$$

- Volume lumpur

$$\text{Volume lumpur} = \text{Volume air} + \text{Volume solid}$$

- Kedalaman total sedimentasi (clarifier)

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{Settling}} + H_{\text{Thickening}} + H_{\text{Sludge}}$$

e) Zona Outlet

- Panjang total pelimpah/weir (P_w)

$$P_w = \pi \times D_{\text{bak}}$$

- Jumlah V notch

$$n = \frac{L_{weir}}{\text{Jarak } v \text{ notch}}$$

Keterangan :

n = jumlah v notch (buah)

Lweir = panjang pelimpah/weir (m)

- Debit tiap V notch

$$Q_{vnotch} = \frac{Q}{n}$$

- Tinggi peluapan melalui V notch (Hair)

$$Q_{Vnotch} = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

- Luas saluran pelimpah

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

Keterangan :

A = luas saluran pelimpah (m²)

Q = debit air limbah (m³/detik)

v = kecepatan aliran (m/detik)

2.3.5 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Pada pembuangan akhir sludge sering kali dipermudah dengan pengeluaran air dalam jumlah yang cukup banyak sehingga lumpur berbentuk seperti padatan. Pengoperasian ini disebut *sludge dewatering* dan dapat dikerjakan melalui berbagai proses. Sebelum masuk ke dalam sludge dewatering misalnya SDB, BFP, FP, dan decanter.

a. Bak Pemekat Lumpur (*Sludge Thickener*)

Lumpur mengandung air dalam jumlah besar. Sludge thickener adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe thickener yang digunakan adalah gravity thickener dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada sistem gravity thickener ini, lumpur

diendapkan di dasar bak sludge thickener (Metcalf & Eddy, 2004). Thickening lumpur digunakan untuk meningkatkan konsentrasi padatan dan mengurangi volume. *Sludge Thickener* merupakan unit turunan dari *circular clarifier*. Memiliki cara kerja yang identik namun dalam perancangannya, *sludge thickener* di desain untuk menghasilkan sludge yang lebih pekat dengan aliran rendah. *Sludge thickener*, *clarifier*, dan *classifier* merupakan unit-unit yang digunakan dalam proses sedimentasi dan pengolahan/pemisahan lumpur, diperlukan *pilot test* dan uji laboratorium dalam menentukan dimensi dan juga keefektifan unit yang akan digunakan (Brazil & Summerfelt, 2006). Berikut ini pada Tabel 2.10 dapat dilihat perbedaan dari ketiga unit dalam *thickener*.

Jenis Unit	Paramter Produk/Hasil		Karakteristik Hasil Akhir Lumpur		
	<i>Solid in Liquid</i>	<i>Liquid in Solid</i>	<i>Solid Concentration</i>	<i>Solid Dense</i>	<i>Particel Size</i>
<i>Gravity/Sludge Thickener</i>	Baik	Buruk	Medium	Padat	Medium
Clarifier	Baik	Buruk	Rendah	Kurang Padat	Halus
Classifier	Buruk	Buruk	Medium	Padat	Kasar

(Sumber: Trevi Environmental Solutions, 2014)

Metode thickening yang biasa digunakan adalah *gravity thickening*, *dissolved air flotation*, dan *centrifugation*. Namun yang akan dibahas hanya *gravity thickening*. *Gravity thickening* dilakukan pada bak bulat yang serupa dengan sedimentasi yang digunakan pada pengolahan primer dan sekunder Padatan yang masuk ke dalam thickener dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Air yang terdapat pada bagian atas relatif bersih. Lapisan selanjutnya adalah zona sedimentasi, yang biasanya terdiri atas lapisan lumpur yang lebih berat yang bergerak dari influent menuju zona thickening. Pada zona thickening, masing-masing partikel dari lumpur akan menggumpal. Pada zona ini, lapisan lumpur harus

terus dijaga dan massa lumpur terkompresi oleh lumpur yang terus ditambahkan ke dalam thickener.

Air mengalir ke luar dari bagian atas thickener melalui gutter, pengadukan dilakukan dengan batangan-batangan pengaduk yang di gerakkan oleh elektromotor, untuk memperoleh pengadukan yang baik dan memindahkan gas dan air ke permukaan. Selanjutnya, lumpur yang sudah kental dipindahkan dari dasar bak. Untuk memperoleh proses pengoperasian yang baik, ketinggian lapisan lumpur harus dijaga. *Gravity thickener* digunakan untuk meningkatkan konsentrasi lumpur dari primary clarifier, trickling clarifier, dan activated sludge, serta lumpur campuran dan kimia. Namun, lumpur dari activated sludge dan kimia biasanya sangat sulit untuk dikentalkan dengan cara ini. Tingkat kekentalan akhir yang diperoleh bervariasi antara 2 – 5 kali dari konsentrasi lumpur yang masuk mula-mula. Konsentrasi maksimum yang dapat dicapai adalah 10%.

Adapun kriteria perencanaan dari unit *sludge thickener* sebagai berikut.

- Kedalaman unit (H) = 3 – 4 m
- Waktu detensi (Td) = 24 jam = 1 hari

(Sumber: Qasim, S. R. (1999). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*. Florida: CRC Press)

- Kemiringan dasar tangki (S) = 2:12 – 3:12
- Beban solid = 50 kg/m².hari
- Beban hidraulik = 16 – 32 m³/m².hari

(Sumber: Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja, Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, hal 33)

Berikut merupakan tahapan beserta rumus-rumus yang dibutuhkan apabila melakukan perencanaan unit *sludge thickener*.

- Beban massa TSS dalam influent

$$\text{Massa TSS influent} = \text{Konsentrasi TSS} \times \text{Debit lumpur (Q)}$$

- Luas permukaan TSS dalam influent

$$A \text{ TSS influent} = \frac{\text{Beban TSS dalam influent}}{\text{Beban solid}}$$

- Diameter (D)

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

Keterangan :

D = diameter bak (m)

A = luas permukaan bak (m²)

- Jari-jari hidrolis (R)

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

r = jari-jari bak (m)

h = kedalaman bak (m)

- H total *thickener*

$$H \text{ total} = H + \text{Freeboard}$$

- Beban hidraulik

$$\text{Beban hidraulik} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/detik)

A = luas permukaan (m²)

- Total konsentrasi solid

$$\text{Total konsentrasi solid} = \frac{\text{Beban massa TSS influent}}{\text{Densitas lumpur} \times Q} \times 100\%$$

- Beban TSS terpadatkan (effluent)

$$\text{Beban TSS terpadatkan} = \% \text{ penyisihan TSS} \times \text{massa TSS influent}$$

- Debit lumpur terpekatkan

$$Q \text{ lumpur effluent} = \frac{\text{Beban TSS terpadatkan (effluent)}}{\text{Konsentrasi solid lumpur} \times \text{Densitas lumpur}}$$

- Konsentrasi TSS dalam lumpur terpekatkan

$$\text{Konsentrasi TSS eff} = \frac{\text{Beban TSS terpadatkan (effluent)}}{\text{Debit lumpur terpekatkan}}$$

- Beban TSS dalam supernatant

$$\text{TSS supernatant} = \text{beban TSS influent} - \text{beban TSS effluent}$$

- Debit supernatant

$$Q \text{ supernatant} = \text{debit lumpur inf} - \text{debit lumpur eff}$$

- Konsentrasi TSS dalam supernatant

$$\text{Konsentrasi TSS}_{\text{sup}} = \frac{\text{Beban TSS Supernatant}}{\text{Debit supernatant}}$$

- Efisiensi penyisihan TSS

$$\% \text{ Removal TSS} = \frac{\text{TSS influent} - \text{TSS effluent}}{\text{TSS influent}} \times 100\%$$

- Tinggi ruang lumpur

$$V_{\text{sludge}} = \text{Volume kerucut}$$

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

- 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 wall

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

- Panjang pelimpah (weir)

$$L_{\text{weir}} = \pi \times D \text{ bak}$$

- Jumlah V notch

$$n \text{ V notch} = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{Jarak antar weir}}$$

- Debit melalui V notch

$$Q = \frac{Q}{n}$$

- Luas permukaan saluran pelimpah

$$Q = \frac{8}{15} \times Cd \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

- Luas permukaan saluran pelimpah

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

- Tinggi saluran

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

- Lebar saluran

$$W = 2H$$

- Diameter pipa outlet

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

- H total

$$H \text{ total} = H \text{ saluran} + H \text{ fb}$$

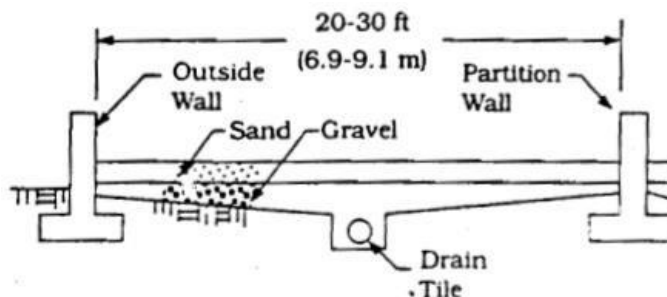
b. Sludge Drying Bed

Pengolahan lumpur diperlukan untuk menstabilkan proses pengolahan, padatan perlu dibuang dan dikurangi volumenya, pengolahan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam lumpur, karena residu lumpur berlebih yang terdapat pada air limbah dapat mempengaruhi proses pengolahan air limbah. (Spellman, 2003). Salah satu unit pengolahan lumpur yakni *sludge drying bed* pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / *sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200 – 300 mm. Selanjutnya, lumpur tersebut dibiarkan mengering.

Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan

saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan *open join*). (Metcalf & Eddy, 2004)

Daya tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{tahun}$). Berikut ini pada Gambar 2.41 dapat dilihat ilustrasi dari *sludge drying bed*.



Gambar 2.41 *Sludge Drying Bed*

Sludge Drying Bed (SDB) adalah metode yang paling tua untuk *sludge dewatering*. Sampai saat ini, SDB masih digunakan dalam IPAL skala kecil hingga sedang. SDB terdiri atas lapisan pasir kasar dengan kedalaman 15 cm – 25 cm, lapisan kerikil dengan ukuran yang berbeda-beda, dan pipa yang berlubang-lubang sebagai jalan aliran air. SDB dibuat dengan beberapa bak/bagian, tergantung pada keperluannya. Pembagian kedalam beberapa bak ini dimaksudkan agar lumpur telah benar-benar kering sebelum lumpur yang basah masuk kembali.

Lumpur dimasukkan ke dalam SDB dengan ketebalan 20 cm-30 cm dan dibiarkan hingga kering. Air hasil penirisan lumpur dikembalikan ke IPAL. Waktu pengeringan sangat tergantung pada kondisi setempat. Misalnya, dalam waktu 10-15 hari akan dapat dicapai tingkat kekeringan antara 30%-40% DS. SDB dapat ditutup atau dibuka, tergantung pada kondisi lingkungan. Lumpur yang sulit diperlakukan dengan *dewatering* dapat menimbulkan persoalan bau. Adapun kriteria perencanaan SDB ditunjukkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Standar Typical untuk Bak-Bak Pengering

Lumpur (Sludge)	Ft ² per orang (Square Feet per Capita)	
	Bak Terbuka (Open Beds)	Bak Tertutup (Covered Beds)
Primary digested	1,0 – 1,5	0,75 – 1,0
Primary and humus digested	1,25 – 1,75	1,0 – 1,25
Primary and activated digested	1,75 – 2,5	1,25 – 1,5
Primary and chemically precipitated digested	2,0 – 2,5	1,25 – 1,5

Adapun kriteria perencanaan dalam mendesain unit pengolahan lumpur *sludge drying bed* pada Tabel 2.11 sebagai berikut.

Tabel 2.11 Kriteria Desain 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	Sludge loading rate	100 - 300	Kg/m ² .tahun	
4	Tebal bed	20 – 30	cm	
5	Lebar bed	5 - 8	m	
6	Panjang bed	6 – 30	m	
7	Waktu pengeringan	10 – 15	hari	
8	Uniformity coefficient	<4		
9	Effective size	0,3 – 0,75	mm	
10	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
11	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12	Tebal lumpur	200 – 300	mm	Metcalf & Eddy 4 th Edition, 2003
13	Kecepatan pipa underdrain	0,75	m/detik	
14	Diameter pipa underdrain	>100	mm	

No	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
15	Koef. Keseragaman	<4	-	
16	Ukuran efektif	0,3 – 0,785	%	
17	Slope	>1	%	
18	Rasio lebar : panjang	6:6:30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk melakukan desain *sludge drying bed* pada instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut.

- Tebal media

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

- Volume lumpur tiap bed (V_b)

$$V_b = \frac{\text{Volume lumpur total}}{\text{Jumlah bed}}$$

- Volume sludge cake (V_i)

$$V_i = \frac{V_b \times (1 - P)}{1 - P_i}$$

- Volume sludge drying bed (V)

$$\text{Volume SDB} = V_i \times T_d$$

- Dimensi tiap bed

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

- Volume air (V_a)

$$V_a = \frac{\text{Volume lumpur} - (V_i \times T_d)}{\text{Jumlah bed}}$$

- Dimensi Pipa Inlet

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

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

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

- Debit pipa efluent air

$$Q_{\text{efluen}} = \frac{V_a}{T_d}$$

- Diameter pipa underdrain

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

- Kedalaman Underdrain ($H_{\text{Underdrain}}$)

$$H_{\text{Underdrain}} = \frac{V a}{A}$$

- Kedalaman total (H total)

$$H \text{ total} = H \text{ cake} + H \text{ pasir} + H \text{ kerikil} + H \text{ underdrain}$$

$$H \text{ Freeboard} = H_{\text{media}} + (20\% \times H_{\text{media}})$$

d. *Plate dan Frame Filter Press*

Plate dan frame filter press juga disebut filter press. Filter press terdiri atas terdiri atas pelat-pelat bulat atau segi empat yang disusun satu sama lain, kemudian ditekan, namun terdapat rongga-rongga di dalamnya. Setiap permukaan plate dilapisi dengan filter cloth. Sampai saat ini, dikenal dua macam filter press, yaitu fixed volume filter press dan variable volume filter press. Pada fixed volume filter press, lumpur dipompakan dengan tekanan 50-225 psi ke dalam chamber. Air akan melewati cloth, sedangkan padatan akan tertahan dan membentuk cake pada permukaan cloth. Pengisian lumpur terus berlanjut hingga filter press penuh dengan cake. Pengisian filter press penuh dengan cake. Pengisian ini memerlukan waktu 20-30 menit. Pada saat itu, tekanan biasanya mencapai keadaan maksimum dan dibiarkan selama 1-2 jam. Selama waktu tersebut, filtrat dipindahkan dan cake diharapkan telah mengering. Selanjutnya, plate dibuka dan filter filter cake jatuh ke dalam bak penampung atau belt conveyor. Agar dapat dipindahkan dengan mudah, cake dihancurkan terlebih dahulu dengan menggunakan penghancur cake.

Pada *variable volume filter press*, diafragma diletakkan di antara filter cloth yang kemudian digerakkan oleh udara atau air bertekanan untuk pengaman untuk memeras lumpur. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi filter biasanya sekitar 10-20 menit. Jika titik air telah dicapai maka pompa lumpur dimatikan secara otomatis. Air dan udara bertekanan kemudian dipompakan ke dalam celah di antara diafragma dan plate sehingga proses pemerasan lumpur mulai asan lumpur mulai terjadi. Pada akhir siklus, air dikembalikan ke bak penampung, plate secara

otomatis terbuka, dan lumpur dibuang. Berikut ini pada Tabel 2.12 dapat dilihat data operasi dan desain filter press.

Tabel 2.12 Data Operasi dan Desain Filter Press

Jenis Lumpur	Padatan Masuk (%)	Dosis Bahan Kimia (%)	Filter Tield (kg/m ² .h)		Cake Solids (%)
			FeCl ₃	CaO	
Primer dan Sekunder	4	5	15	5	40
Anaerobically digested, primer dan sekunder	4	6	16	5	40
Thermally and conditioned, primer dan sekunder	14	0	0	12	60

e. ***Belt Filter Press***

Belt filter press (BFP) menggunakan satu atau dua belt yang bergerak untuk mengambil air dari lumpur secara kontinyu. Saat ini, BFP sangat populer dalam pengolahan lumpur organik.

2.4 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan limbah adalah menurunkan beban pencemar pada limbah tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Berikut ini pada Tabel 2.13 merupakan persen removal dari setiap unit bangunan pengolahan limbah.

Tabel 2.13 Persen Removal Tiap Unit Bangunan Pengolahan Limbah

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Bar Screen	SS	20 – 35%	Qasim, S. WWTP, <i>Planning Design and Operation</i> . Hal 156
Grease Trap	Minyak dan Lemak	46 – 96%	Eckenfelder, W Wesley, Jr. (2000), <i>Industrial Water Pollution Control</i> , 3 rd edition, McGraw-Hill, Inc., New York. Page 117.
Bak Ekualisasi	BOD	10 – 20%	Reynold, 1996. <i>Unit Operations and Processed in Environmental Engineering</i> , 2 nd Edition, Page 158
Netralisasi	pH	-	
Koagulasi – Flokulasi	Phospat	60%	Eckenfelder, W Wesley, Jr. (2000), <i>Industrial Water Pollution Control</i> , 3 rd edition, McGraw-Hill, Inc., New York. Page 117.
Bak Pengendap 1 (Sedimentasi 1)	TSS	80 – 90%	Metcalf & Eddy. <i>Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)</i> . McGraw - Hill Companies , inc, 2003. Page 497
	BOD	50 – 80%	
Biofilter Anaerob	COD	90%	Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.7 N0.2 (2017). <i>Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter</i>
	BOD	92%	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
			<i>Anaerob Media Plastik Bioball.</i> Hal 55
	TSS	95 – 98%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). <i>Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean.</i> Hal 9.
Biofilter Aerob	NH ₃ -N	97%	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.20 No.2 (2019). <i>Pengolahan Nitrifikasi dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup.</i> Hal 243.
	BOD	90 – 95%	Said, Nusa Idaman. 2017. <i>Teknologi Pengolahan Air Limbah.</i> Hal 305
	COD	86%	Jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). <i>Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam</i>
Activated Sludge	BOD	80 – 99%	Cavaseno, V. (1987). <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering.</i> Page 15.
	COD	50 – 95%	
	NH ₃ -N	33 – 99%	
	TSS	60 – 80%	

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Sedimentasi 2 (Clarifier)	COD	30 – 50%	Huisman, L. (1977). <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration</i> . Page 12.
	BOD ₅	80 – 90%	Metcalf & Eddy. <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4nd Edition</i> . Page 396.
<i>Sludge Drying Bed</i>	Air	90 – 100%	Syed R. Qasim. <i>Wastewater Treatment Plants (Planning, Design and Operation)</i> . Hal 492.

2.5 Profil Hidrolis

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

1) Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu :

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus

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.