

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Karet

Limbah merupakan hasil sisa dari sebuah proses yang tidak dapat digunakan kembali, apabila limbah ini terlalu banyak di lingkungan maka akan berdampak pada pencemaran lingkungan dan kesehatan bagi masyarakat sekitar. Limbah ada dua bagian sumber yaitu limbah yang bersumber domestik (limbah rumah tangga) dan limbah yang berasal dari non-domestik (pabrik, industri dan limbah pertanian). Karakteristik bahan-bahan yang termasuk limbah adalah mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, menyebabkan infeksi, bersifat korosif dan lain-lain. Kegiatan industri, domestik, dan kegiatan lain berdampak negatif terhadap sumber daya air, antara lain menurunkan kualitas air. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan perlindungan sumber daya air secara seksama.

Oleh karena itu, dalam pembuangan limbah baik yang domestik maupun yang non-domestik di daerah pemukiman sebaiknya dilakukan penataan ulang lokasi pembuangan limbah, agar aliran limbah dari masing-masing pemukiman penduduk dapat terkoordinasi dengan baik, dan tidak menimbulkan penyakit yang meresahkan kehidupan penduduk sekitar. Salah satu industri yang erat hubungannya dengan masalah lingkungan adalah industri karet. Dari proses pengolahan karet akan menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa organik. Hal ini memerlukan penanganan yang terpadu antara pihak pemerintah, industri dan masyarakat, juga diperlukan teknologi pengolahan limbah karet yang murah dan mudah dalam penanganannya. Salah satu penyebab kerusakan lingkungan ini adalah akibat pencemaran terhadap lingkungan yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan hidup adalah berasal dari kegiatan industri, yaitu pembuangan limbah industri yang belum memenuhi baku mutu lingkungan.

Saat ini kondisi pabrik karet sebagian besar berada didaerah yang cukup padat pemukimannya, kapasitas produksinya semakin hari semakin besar, lahan yang tersedia untuk mengelola limbah, rata –rata tidak mencukupi karena volume

air yang digunakan semakin besar dan kualitas limbah semakin kotor dan upaya pabrik secara sendiri – sendiri melakukan pemilihan bahan baku yang bersih untuk memperbaiki mutu, meningkatkan efisiensi, dan pencemaran yang kurang berhasil. (Prastiwi N, 2010) Sumber Limbah Industri Karet apabila dilihat dari tahapan produksi baik dari bahan baku berasal dari lateks dan bahan olahan karet rakyat (bokar), maka limbah yang terbentuk pada industri karet dapat berupa limbah padat (Limbah *Crumb Rubber*), limbah cair, dan limbah gas. Kualitas bahan baku berpengaruh terhadap tingkat kuantitas dan kualitas limbah yang akan terjadi dengan rincian sebagai berikut:

- 1). Makin kotor bahan karet olahan akan semakin banyak air yang diperlukan untuk proses pembersihannya, sehingga debit limbah cair pun meningkat.
- 2) Makin kotor dan makin tinggi kadar air dari bahan baku karet olahan, akan makin mudah terjadinya pembusukan, sehingga kuantitas limbah gas/bau pun meningkat.
- 3) Bahan baku karet olahan yang kotor menyebabkan kuantitas lumpur, tatal dan pasir relatif tinggi.

Sumber limbah cair dapat dikategorikan dari proses produksi dengan rincian sebagai berikut:

1. Bahan baku karet dari rakyat berbentuk koagulum (bongkahan) yang telah dibubuhi asam semut, dan banyak mengandung air dan unsur pengotor dari karet baik disengaja maupun tidak disengaja oleh kebun rakyat. Sumber limbahnya antara lain:
 - a. Penyimpanan koagulum
 - b. Sebelum produksi terlebih dahulu karet disemprot air sehingga menghasilkan limbah
 - c. Pencacahan koagulum lalu di cuci dengan air lagi
 - d. Proses peremahan dengan hammer mill juga menghasilkan limbah cair, walaupun jumlahnya relatif kecil
2. Bahan baku berasal dari lateks kebun. Limbah cair dari produksi karet berasal dari pembersihan bokar, penggilingan, pencacahan, pengeringan serta pengepresan

2.2 Karakteristik Air Limbah

Setiap industri dan jenis bangunan memiliki karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Karet (*Crumb Rubber*) yang mempunyai karakteristik :

2.2.1 pH

Konsentrasi ion hidrogen atau yang biasa disebut derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang penting baik untuk air maupun air limbah. pH biasanya digunakan untuk menunjukkan konsentrasi dari ion hydrogen tersebut. Kandungan pH pada air limbah industri karet ini adalah 6,53, Rentang pH yang cocok untuk keberadaan kehidupan biologis yang paling sesuai adalah 6-9. Air limbah dengan pH yang ekstrim sulit untuk pengolahan secara biologis dan jika tidak dilakukan penetralan pH sebelum air limbah diolah akan merubah kondisi di perairan alami. (*Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition", hal 57*)

2.2.2 Total Suspended Solid

TSS adalah jumlah *Total Solids* (TS) yang tertahan pada sebuah filter dengan ukuran pori tertentu, yang diukur setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling umum digunakan untuk pengukuran TSS yaitu Whatman glass fiber filter dengan ukuran pori 1,58 µm. Sedangkan TS sendiri adalah residu yang tersisa setelah air limbah diuapkan dan dikeringkan dengan suhu tertentu (103 – 105°C). (*Metcalf & Eddy, 2003*).

Kandungan TSS pada air limbah industri karet ini adalah 130 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 184,5 mg/L. TSS merupakan penyebab utama kekeruhan air yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi di dalam air yang dapat mengganggu penyerapan cahaya matahari ke dalam air. Kekeruhan akan menghambat penembusan sinar matahari yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. TSS meliputi seluruh padatan yang terdapat dalam air, baik senyawa organik maupun anorganik.

2.2.3 Biological Oxygen Demand

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen terlarut di dalam air yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mereduksi bahan organik secara biokimia dalam kondisi aerobik. Alasan mengapa tes BOD diperlukan ialah: Untuk menentukan kuantitas oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis secara tepat, Menentukan ukuran unit pengolahan limbah, Mengukur efisiensi pengolahan, dan untuk menentukan pematuhan pembuangan air limbah yang diperbolehkan (Metcalf & Eddy, 2003). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*).

BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan semua zat organik yang terlarut maupun tersuspensi dalam air buangan, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Mays (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah terurai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan. Kandungan BOD pada air limbah industri karet ini adalah 213,68 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 60 mg/L.

2.2.4 Chemical Oxygen Demand

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air limbah secara kimiawi dengan menggunakan kalium dikromat di dalam larutan asam. Nilai COD seringkali lebih tinggi dari BOD dikarenakan: Banyak substansi organik yang sulit untuk dioksidasi secara biologis seperti lignin yang hanya dapat dioksidasi secara kimiawi, Substansi anorganik yang dioksidasi oleh dikromat meningkatkan jumlah bahan organik dalam air, Beberapa substansi organik dapat meracuni mikroorganisme yang digunakan dalam uji BOD, Nilai COD

yang tinggi dapat terjadi karena adanya substansi anorganik yang dapat bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2003).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair dengan memanfaatkan oksidator dikromat sebagai sumber oksigen, dinyatakan dalam ppm atau milligram per liter (mg/L). Nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses kimiawi. Maka, semakin tinggi COD maka semakin tinggi kadar oksigen terlarut untuk oksidasi dan oksigen yang tersedia untuk biota perairan semakin rendah. Kandungan COD pada air limbah industri karet ini adalah 607,15 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 200 mg/L.

2.2.5 N-Total

Nitrogen total adalah jumlah atau kadar keseluruhan nitrogen yang terdapat dalam limbah cair atau sampel, air permukaan dan lainnya. Nitrogen dapat ditemui hampir di setiap badan air dalam berbagai macam bentuk, bergantung tingkat oksidasinya, yaitu NH_3 , N_2 , NO_2 , NO_3 . Nitrogen netral berada sebagai gas N_2 yang merupakan hasil suatu reaksi yang sulit untuk bereaksi lagi. N_2 lenyap dari larutan sebagai gelembung gas karena kadar kejenuhannya rendah.

Hubungan yang timbul diantara berbagai bentuk campuran nitrogen dan perubahan-perubahan yang terjadi dalam alam pada umumnya digambarkan dengan siklus nitrogen. Di dalam air limbah kebanyakan dari nitrogen tersebut terdapat dalam bentuk organik atau protein dan Amonia. Setingkat demi setingkat nitrogen organik tersebut diubah menjadi nitrogen Amonia. Dalam kondisi aerobik, oksidasi dari Amonia menjadi nitrit dan nitrat terjadi sesuai waktunya.

Dalam limbah, nitrogen dapat berada dalam bentuk Amonia tereduksi sampai senyawa nitrat teroksidasi. Konsentrasi tinggi dari berbagai bentuk nitrogen beracun terhadap flora dan fauna tertentu. Amonia merupakan bagian dari nitrogen total yang berasal dari oksidasi zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air buangan industri dan penduduk. Kadar Amonia yang tinggi selalu menunjukkan pencemaran. Amonia menyebabkan perubahan jaringan pada sistem pernafasan dan

meningkatkan infeksi mikoplasma dan menurunkan pertumbuhan. Selain itu, Amonia dalam tanah akan dikonversikan ke dalam nitrat oleh bakteri nitrat, sehingga mengakibatkan pH air tanah turun dan tingginya kadar nitrat dalam air minum.

Kandungan Nitrogen Total air buangan Industri Karet ini adalah 10,04 mg/lit, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan Nitrogen Total yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 10 mg/lit (Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012.).

2.2.6 Amonia Total

Amonia merupakan hasil dari penguraian zat organik (sisa pakan, feses dan biota akuatik yang mati) oleh bakteri pengurai. Amonia yang terukur dalam perairan berupa Amonia total ($\text{NH}_3\text{-N}$), yang terdiri dari Amonia bebas (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Persentase kadar Amonia bebas meningkat dengan meningkatnya nilai pH dan suhu perairan. Amonia bebas bersifat toksik terhadap organisme akuatik Toksisitas Amonia ini akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut.

Air limbah industri kayu lapis berasal dari proses produksi glue spender dan proses pencucian mesin maupun peralatan produksi. Dari tiap-tiap perekat yang dibuat, komposisi terbesar yang digunakan yaitu resin dengan persentase 70-80% dari total campuran yang ada. resin ini berfungsi sebagai pengikat ion negatif penyebab korosi (resin kation) dan pengikat ion positif penyebab kerak atau skala (resin anion). Resin yang telah jenuh harus diregenerasi, proses regenerasi ini yang menyebabkan Amonia yang terikat akan lepas dan terikut dalam air limbah regenerasi hasil dari produksi industri kayu lapis.

Amonia total pada air buangan kawasan industri adalah 25 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kadar Amonia total yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 4 mg/L (Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012.).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.3.1 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 diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol. Atau apabila terjadi jika ada ukuran *screen* lebih besar dari saluran, maka peletakan *screen* dipasang di bak kontrol.

➤ Kriteria Perencanaan

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy 4th Edition, halaman 316)

- Freeboard = 5 – 30%

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

- Koefisien manning (n) = 0,013 (beton yang dihaluskan)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 111. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

2.3.2 Bar Screen

Screen biasanya merupakan tahap awal proses pengolahan air limbah. Proses ini bertujuan untuk memisahkan potongan-potongan kayu, plastik dan sebagainya. *Screen* 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 (*Course Screen*) dan *Screen* Halus (*Fine Screen*). Dan ada dua cara pembersihannya yaitu secara manual dan mekanis. Prinsip yang digunakan bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. *Screen* berfungsi untuk :

1. Menyaring benda padat dan kasar yang ikut terbawa atau hanyut dalam air buangan supaya benda-benda tersebut tidak mengganggu aliran dalam saluran dan tidak mengganggu proses pengolahan air buangan.
2. Mencegah timbulnya kerusakan dan penyumbatan dalam saluran pembawa.
3. Melindungi peralatan seperti pompa, valve dan peralatan lainnya. Perbedaan *screen* kasar dan halus adalah pada jauh atau dekatnya jarak antar bar *screen*.

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *screen* dengan pembersihan secara manual maupun mekanis baik coarse *screen* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S. Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 - 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
Parameter lain				
Kemiringan terhadap vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 - 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Head loss	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

Sumber: (Metcalf and Eddy, 2003)

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

- Tinggi *bar screen*

$$\text{Tinggi bar screen} = H_{\text{Saluran}} + (fb \times H_{\text{Saluran}})$$

Keterangan:

H = tinggi

$Fb = \text{freeboard}$

- Jumlah Batang Kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan *screen* (wc)

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

wc = lebar bukaan *screen*

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

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

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

- Kecepatan melalui Kisi (V_i)

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

Keterangan

Q = debit *inlet* air limbah

wc = lebar bukaan *screen*

h = tinggi muka air

- *Head loss* pada *Bar screen* saat non-clogging

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

C merupakan koefisien pada saat non-clogging yaitu 0,7

- *Head loss* pada *Bar screen* saat clogging

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

C_c merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6.

2.3.3 Bak Ekualisasi

Tujuan proses Ekualisasi adalah untuk meminimalkan atau mengontrol fluktuasi dari karakteristik air limbah yang diolah agar memberikan kondisi optimum pada proses pengolahan selanjutnya. Ukuran dan tipe bak Ekualisasi tergantung pada kuantitas limbah dan perubahan aliran limbah. Bak Ekualisasi 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 Ekualisasi 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 disyaratkan 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 Ekualisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD (10 – 20 % tersisihkan) udara dalam air limbah dari proses pencampuran dan aerasi (Reynold,1996). Metode yang digunakan pada proses pencampuran antara lain (Eckenfelder, 2000):

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 Ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran, konsentrasi atau keduanya. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak Ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

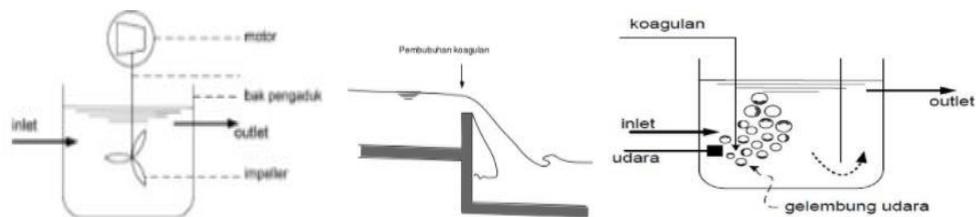
2.3.4 Koagulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya Tarik menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil penggumpalan partikel tidak terjadi dan Gerakan brown menyebabkan partikel tetap menjadi suspensi. Melalui koagulasi maka akan terjadi destabilisasi sehingga partikel koloid menyatu dan menjadi besar, sehingga partikel koloid yang awalnya sulit dipisahkan dari air menjadi mudah dipisahkan dengan menambahkan flokulasi dan sedimentasi (Said, 2017).

Proses destabilisasi terjadi salah satunya akibat dari pengadukan cepat, pengadukan cepat bertujuan agar menghasilkan turbulensi pada air sehingga bahan kimia (koagulan) dapat didispersikan ke dalam air. Secara umum pengadukan cepat

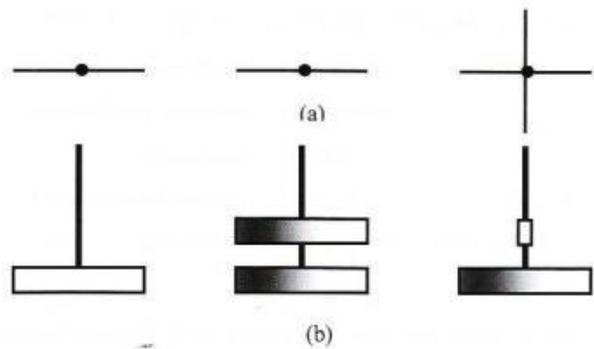
adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan yang besar (300 sampai 1000/s) selama 5 hingga 60 detik yang bergantung pada maksud serta tujuan dari pengadukan itu sendiri (Masduqi, 2016).

Menurut caranya, pengadukan cepat dibagi menjadi tiga cara, yaitu pengadukan mekanis, pengadukan hidraulis, dan pengadukan pneumatis. Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan dengan memakai peralatan mekanis yang terdiri dari motor, poros pengaduk, dan alat pengaduk yang digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Pengadukan hidraulis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan yang dihasilkan dari energi hidraulis dari suatu aliran hidraulis yang dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau lompatan hidraulis pada suatu aliran. Sedangkan pengadukan pneumatis merupakan pengadukan yang memakai udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan (Masduqi, 2016).



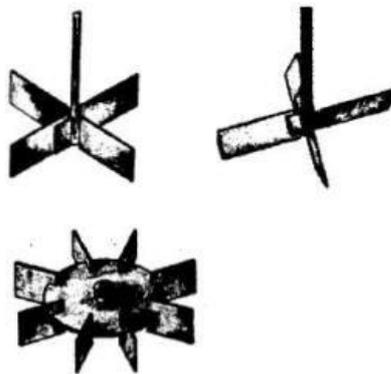
Gambar 2.1 Pengadukan Mekanis, Pengadukan Hidraulis dan Pengadukan Pneumatis

Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Bentuk ketiga impeller dapat dilihat pada gambar 2.2, gambar 2.3, dan gambar 2.4. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT .



Gambar 2.2 Tipe *Paddle* a) Tampak Atas dan Samping Tampak Atas, (b) Tampak Samping

(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012 hal 112)



Gambar 2.3 Tipe *Paddle*

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

(Sumber: Qasim, et all., 200)



Gambar 2.4 Tipe *Propeller*

(a) propeller 2 *blade*, (b) propeller 3 *blade*

(Sumber: Qasim, et all., 200)

Bahan kimia yang biasanya dipakai untuk proses koagulasi umumnya dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan dipakai untuk menggumpalkan partikel yang tersuspensi, zat warna, koloid dan lain-lain agar membentuk gumpalan partikel yang besar (flok). Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan berfungsi untuk mengatur pH agar kondisi air baku dapat menunjang proses flokulasi, serta membantu agar pembentukan flok dapat berjalan lebih efisien (Said, 2017).

Beberapa macam koagulan yang sering digunakan dalam proses penjernihan air adalah Poly Aluminium Chloride (PAC), aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), ferri klorida (FeCl_3), dan ferri sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Pada umumnya koagulan yang paling sering digunakan oleh masyarakat adalah aluminium sulfat atau yang lebih dikenal dengan tawas. Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan koagulan-koagulan diatas.

1. *Poly Aluminum Chloride (PAC)*

PAC adalah garam khusus pada pembuatan aluminium klorida yang mampu memberikan daya koagulasi dan flokulasi yang lebih kuat daripada aluminium yang biasa dan garam-garam besi seperti aluminium sulfat atau ferri klorida. Kegunaan dari PAC adalah sebagai koagulan atau flokulan untuk menguraikanlarutan yang keruh dan menggumpalkan partikel, sehingga memungkinkan untuk memisah dari medium larutannya. Keuntungan penggunaan PAC sebagaikoagulan dalam proses penjernihan air yaitu korosivitasnya rendah karena PAC adalah koagulan bebas sulfat sehingga aman dan mudah dalam penyimpanan dan transportasinya dan penggunaan PAC sebagai koagulan tidak menyebabkan penurunan pH yang cukup tajam.

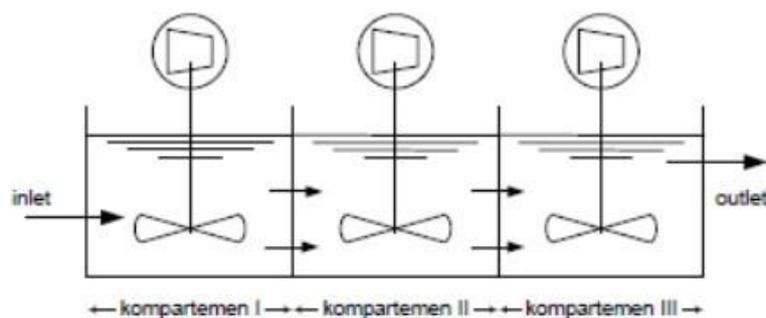
2. *Aluminum Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)*

Biasanya disebut tawas, bahan ini sering dipakai karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol, tidak mudah terbakar, ekonomis, mudah didapat dan mudah disimpan. Penggunaan tawas memiliki keuntungan yaitu harga relatif murah dan sudah dikenal luas oleh operator *water treatment*.

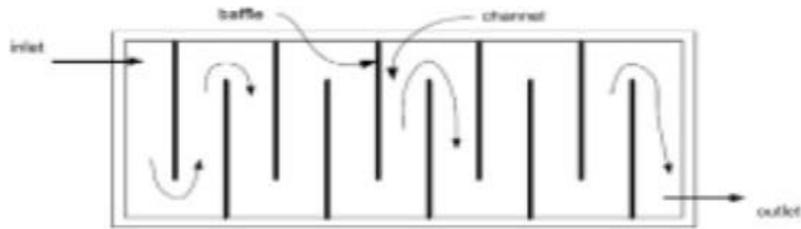
2.3.5 Flokulasi

Pada hakikatnya flokulator adalah kombinasi antara pencampuran dan pengadukan sehingga flok-flok halus yang terbentuk pada bak pencampur cepat akan saling bertumbukan dengan partikel-partikel kotoran atau flok-flok yang lain sehingga terjadi gumpalan-gumpalan flok yang semakin besar (Said, 2017).

Proses flokulasi berfungsi untuk membentuk flok-flok agar menjadi besar dan stabil sehingga dapat diendapkan dengan mudah atau disaring. Untuk proses pengendapan dan penyaringan, partikel-partikel kotoran halus maupun koloid yang ada dalam air baku harus digumpalkan menjadi flok-flok yang cukup besar dan kuat untuk diendapkan atau disaring. Proses pembentukan flok dimulai dari proses koagulasi sehingga terbentuk flok-flok yang masih halus. Flok tersebut kemudian akan saling bertumbukan dengan sesama flok atau dengan partikel kotoran yang ada dalam air baku sehingga akan menggabung membentuk gumpalan flok yang besar sehingga mudah mengendap. Umumnya pengadukan lambat dapat berupa pengadukan mekanis dengan memakai *impeller* atau berupa pengadukan hidraulis dengan *baffle channel* (Said, 2017).



Gambar 2.5 Pengadukan Lambat secara Mekanis



Gambar 2.6 Pengadukan Lambat secara Hidraulis

Dalam proses flokulasi beberapa hal berikut perlu diperhatikan : (Said, 2017).

1. Proses flokulasi harus sesuai dengan cara pengadukan yang dilakukan agar pembentukan flok dapat berjalan dengan baik dan efektif
2. Kecepatan pengadukan di dalam bak flokulator harus bertahap dan kecepatannya semakin pelan ke arah aliran keluar
3. Waktu pengadukan rata-rata 20-40 menit
4. Perencanaan peralatan pengadukan didasarkan pada perhitungan gradien kecepatan dalam bak flokulator.

2.3.6 Sedimentasi

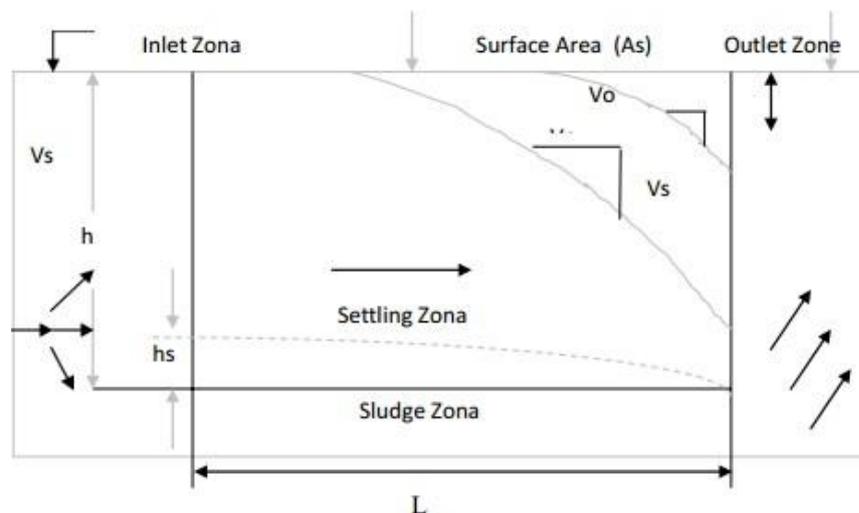
Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah :

- a. Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- b. Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- c. Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan *chlorine*.
- d. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas.

Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah :

- 1) Pengendapan Tipe I (*Free Settling*)
- 2) Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*)
- 3) Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*)
- 4) Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*)

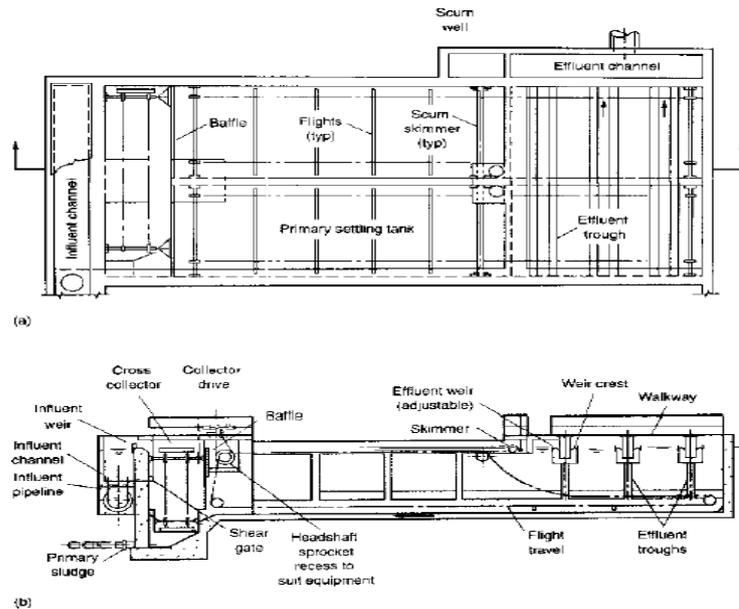


Gambar 2.7 Zona Pada Bak Sedimentasi

(Sumber: Al Layla. *Water Supply Engineering Desain*)

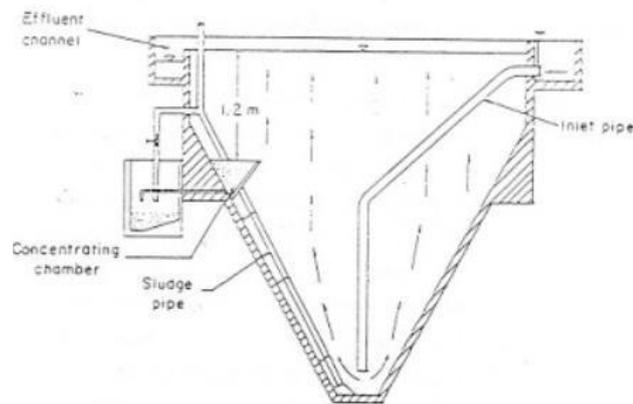
Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut :

- *Zona Inlet*
Terjadi distribusi aliran yang menuju zona *settling* ($\pm 25\%$ panjang bak).
- *Zona Settling*
Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya.
- *Zona Sludge*
Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurusan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada $1/5$ volume bak.
- *Zona Outlet*
Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.



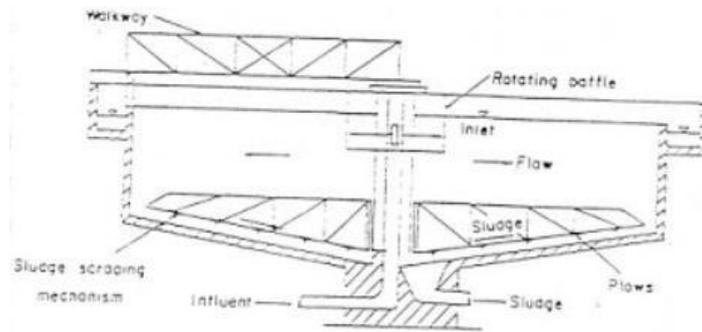
Gambar 2.8 Denah dan Potongan Sedimentasi *Rectangular*
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003)

1. Lingkaran (*circular*) – *center feed*, dimana air masuk melalui pipa menuju *inlet* bak di bagian tengah bak dan kemudian mengalir secara horizontal dari *inlet* menuju outlet di sekeliling bak.



Gambar 2.9 Bak Sedimentasi *Circular Center Feed*
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003)

2. Lingkaran (*circular*) – *peripheral feed*, dimana air masuk melalui sekeliling lingkaran dan secara horizontal mengalir menuju ke *outlet* di bagian bawah lingkaran.



Gambar 2. 10 Bak Sedimentasi *Circular Peripheral Feed*

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003)

Sedangkan menurut tipenya, sedimentasi dibagi menjadi :

1. Sedimentasi tipe 1 yang ditujukan untuk mengendapkan partikel diskrit
2. Sedimentasi tipe 2 yang ditujukan untuk mengendapkan partikel flokulen
3. Sedimentasi tipe 3 yang ditujukan untuk mengendapkan lumpur biologis
4. Sedimentasi tipe 4 yang ditujukan untuk memampatkan partikel yang telah mengendap akibat dari berat partikel

Bak sedimentasi memiliki 4 bagian utama, yaitu bagian *inlet*, zona pengendapan, ruang lumpur dan zona *outlet*. Zona *inlet* merupakan tempat air masuk ke dalam bak. Zona pengendapan merupakan tempat flok atau partikel mengalami proses pengendapan, ruang lumpur merupakan tempat lumpur mengumpul sebelum keluar bak. Zona outlet merupakan tempat dimana air akan meninggalkan bak yang biasanya berbentuk pelimpah (*weir*) (Masduqi, 2016).

Untuk pengolahan air minum, sedimentasi yang umum digunakan yaitu sedimentasi tipe 2. Sedimentasi tipe 2 merupakan pengendapan partikel flokulan dalam air, dimana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel sehingga ukuran flok akan semakin besar dan pada akhirnya akan mengendap (Masduqi, 2016).

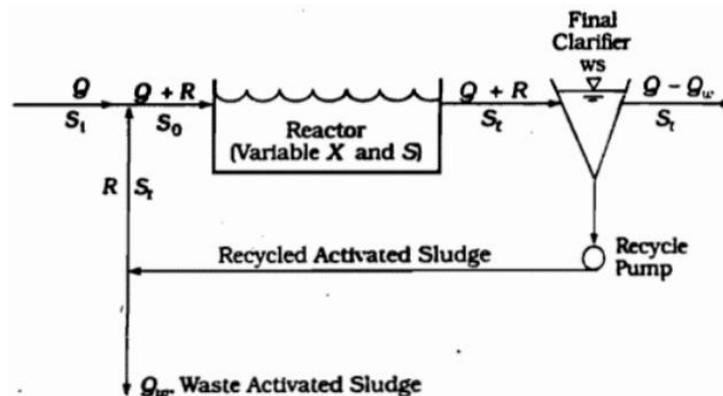
2.3.7 Activated Sludge

Activated Sludge (lumpur aktif) adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan bakteri aerobik dalam tangki aerasi. Energi yang digunakan bakteri berasal dari oksidasi senyawa organik dan organik karbon. Organik karbon yang

digunakan adalah BOD dan COD yang kemudian disebut dengan substrat. Bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, Amonia dan pembentukan sel baru dan hasil lain berupa lumpur.

Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang 25 mengoksidasi material organik menjadi CO_2 dan H_2O , NH_4 . dan sel biomassa baru. Udara disalurkan melalui pompa *Blower (diffused)* atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Metode pengolahan lumpur aktif (*Activated Sludge*) merupakan proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan proses mikroorganisme tersebut. Dengan menerapkan sistem ini didapatkan air bersih yang tidak lagi mengandung senyawa organik beracun dan bakteri yang berbahaya bagi kesehatan. Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Untuk alur pengolahan pada *Activated Sludge* dapat dilihat pada Gambar 2,17 berikut ini.



Gambar 2. 11 Proses pada *Activated Sludge*

Pengaturan jumlah massa mikroba dalam sistem lumpur aktif dapat dilakukan dengan baik dan relatif mudah karena pertumbuhan mikroba dalam kondisi tersuspensi sehingga dapat terukur dengan baik melalui analisa laboratorium. Tetapi jika dibandingkan dengan sistem sebelumnya operasi sistem ini jauh lebih rumit. Khususnya untuk limbah industri dengan karakteristik tertentu. Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *Activated Sludge* yaitu untuk 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. Adapun jenis-jenis proses di dalam *Activated Sludge*, yaitu:

1. Konvensional

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

2. Tapered Aerasi

Hampir sama dengan step aerasi, tetapi injeksi udara di titik awal lebih tinggi.

3. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu Contact tank yang berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik untuk memproses lumpur aktif. Tangki lainnya adalah Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang mengabsorpsi (proses stabilisasi).

4. Pure Oxygen

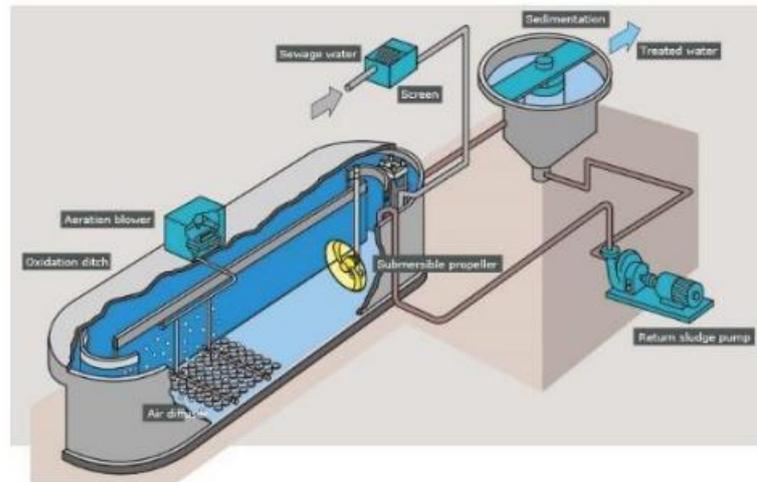
Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan di resirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan waktu tinggal pendek.

5. 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

6. Oxidation Ditch

Bentuk *Oxidation Ditch* adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. Seperti pada Gambar 2.18 berikut ini.



Gambar 2. 12 Sketsa *Oxidation Ditch*

(Sumber:<https://www.jfe-eng.co.jp/en/products/aqua/aqua13.html>)

7. Step Aeration System

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

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan limbah cair dengan lumpur aktif adalah sebagai berikut :

➤ Oksigen

Oksigen dibutuhkan ketika pengolahan terhadap air limbah dilakukan secara aerob. Tetapi untuk proses anaerob, kehadiran oksigen pada reaktor pengolahan limbah tidak diperbolehkan sehingga mikroorganisme yang digunakan untuk mendegradasi limbah adalah bakteri anaerob yang tidak membutuhkan oksigen

➤ Nutrisi

Mikroorganisme akan menggunakan bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah cair sebagai makanannya, tetapi ada beberapa unsur kimia penting yang banyak digunakan sebagai nutrisi untuk

pertumbuhan bakteri sehingga pertumbuhan bakteri optimal. Sumber nutrisi tersebut antara lain :

- Makronutrien

Sumber makronutrien yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan phosphor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2003).

- Mikronutrien

Sumber mikronutrien yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni. Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Perry.R.H. & Green.D., 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrien Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun komposisi organisme.

Komposisi mikroorganisme dalam lumpur aktif sangat menentukan baik atau tidaknya proses pengolahan yang dilakukan. Kondisi yang paling baik untuk pengolahan limbah dengan lumpur aktif adalah apabila populasi mikroorganisme yang dominan adalah free ciliata diikuti dengan stalk ciliata dan terdapat beberapa rotifera.

- pH

Kondisi pH lingkungan sangat berperan dalam pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri karena derajat keasaman atau kebasaan akan mempengaruhi aktivitas enzim yang terdapat dalam sel bakteri. pH optimum untuk pertumbuhan bagi kebanyakan bakteri adalah antara 6.5-7.5. Pergeseran pH dalam limbah cair dapat diatasi dengan larutan H₂SO₄ atau NaOH maupun larutan kapur.

- Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam

proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, 1931).

Adapun parameter penting untuk desain *Activated Sludge* adalah:

- a) F/Mratio, merupakan perbandingan antara substrat (*food*) terhadap mikroorganisme (M) atau lebih tepatnya adalah perbandingan antara substrat (BOD) yang masuk ke tangki aerasi per satuan waktu dengan massa mikroorganisme di tangki aerasi.
- b) Rasio resirkular (R), merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis *Activated Sludge* yang digunakan.
- c) Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).
- d) Waktu detensi (t_d) adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi
- e) Volume bak aerasi (V).

Untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah prasedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi.

Tujuan dari proses pengolahan menggunakan unit *Activated Sludge* yaitu untuk mengubah buangan organik, menjadi bentuk anorganik yang lebih stabil dimana bahan organik yang lebih terlarut yang tersisa setelah Sedimentasi dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi CO_2 dan H_2O , sedang fraksi terbesar diubah menjadi bentuk anorganik yang dapat dipisahkan dari air buangan oleh sedimentasi (Sperling, 2007).

Proses dalam *Activated Sludge* ini mampu mengubah hampir seluruh bahan organik terlarut dan koloid dimetabolisme oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida dan air. Dan fraksi terbesar diubah menjadi massa cellular yang dapat dipisahkan dari aliran melalui pengendapan secara gravitasi. Agar effluen yang dikeluarkan berkualitas tinggi, maka biomassa harus dapat dipisahkan dari aliran melalui *clarifier*, dan setelah itu biomassa dikembalikan lagi ke tangki

aerasi. Proses *Activated Sludge* memiliki beberapa tipe dan modifikasinya, antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Tipe-tipe Proses *Activated Sludge*

No	Process Name	Type of Reactor	BOD Removal	Kelebihan	Kekurangan
			%		
1	<i>High-Rate Aeration</i>	<i>plug flow</i>	75-90	Membutuhkan volume aerasi yang lebih kecil dibandingkan Conventional plug flow membutuhkan energi aerasi yang lebih sedikit	Operasi yang tidak stabil effluen dengan kualitas yang rendah tidak cocok untuk nitrifikasi banyak menghasilkan lumpur
2	<i>Contact Stabilization</i>	<i>plug flow</i>	80-90	Membutuhkan volume aerasi yang lebih kecil dapat menangani aliran dalam cuaca hujan tanpa menghilangkan MLSS	Tidak mempunyai kemampuan nitrifikasi operasi rumit
3	<i>High-purity oxygen</i>	<i>plug flow</i>	85-95	Membutuhkan volume aerasi yang lebih kecil; mengeluarkan sedikit VOC dan gas menghasilkan lumpur yang mudah untuk terendapkan operasi dan kontrol DO tidak	Kemampuan nitrifikasi kurang susah dioperasi aliran jam puncak akan mengganggu pengurusan lumpur MLSS

No	Process Name	Type of Reactor	BOD Removal	Kelebihan	Kekurangan
			%		
				rumit baik teradaptasi dari beberapa jenis limbah	
4	<i>Conventional plug flow</i>	<i>plug flow</i>	85-95	Menghilangkan Amonia lebih baik daripada process complete mix baik beradaptasi dalam beberapa operasi proses	Design dan operasi rumit kesulitan dalam oksigen <i>supply</i> pada tahap awal
5	<i>Step feed</i>	<i>plug flow</i>	85-95	Mendistribusikan penyebaran oksigen meminimalisasi <i>sludge</i> pada <i>clarifier</i> operasi yang fleksible baik beradaptasi dalam beberapa	Operasi yang lebih kompleks flow split tidak dapat diukur desain yang kompleks dalam aerasi dan proses
6	<i>Complete Mix</i>	<i>CMAS</i>	85-95	Baik teradaptasi dari beberapa jenis limbah kapasitas pelarutan besar dalam toxic dan shock loads design tidak selalu kompleks	Mudah terkena filamentous bulking

No	Process Name	Type of Reactor	BOD Removal	Kelebihan	Kekurangan
			%		
7	<i>Extended Aeration</i>	<i>plug flow</i>	75-95	High quality effluen design yang tidak rumit kemampuan dalam shock loading produksi biosolids terbatas	Energi aerasi sangat tinggi kolam aerasi besar
8	<i>Oxidation Ditch</i>	<i>plug flow</i>	75-95	Operasi mudah kemampuan dalam shock loading proses ekonomis dalam small plants energy yang lebih rendah	Struktur lebih besar low f/m bulking energi lebih besar dibandingkan cms dan plug-flow ekspansi kapasitas perencanaan lebih susah
9	<i>Batch decant</i>	<i>Batch</i>	-	-	-
10	<i>Sequencing Batch Reactor</i>	<i>Batch</i>	85-95	Proses sederhana fleksible operasi low effluen SS	Proses control rumit; jam puncak mengganggu operasi membutuhkan filtrasi dan desinfeksi sangat dibutuhkan kemampuan operasi beberapa design tidak berguna dalam aerasi

No	Process Name	Type of Reactor	BOD	Kelebihan	Kekurangan
			Removal %		
	Counter current aeration system (CCAS)	plug flow	-	High quality effluent transfer oksigen lebih baik conventional aerasi; dapat dimodifikasi dalam menghilangkan nutrient	Dibutuhkan fine screening dibutuhkan ahli untuk mengoperasikannya

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

2.3.8 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 di bawah 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).

Secondary clarifier merupakan bagian tak terpisahkan dari sistem *Activated Sludge*. Bagian ini berperan dalam proses pemisahan lumpur dari limbah yang telah diolah di dalam reaktor biologi. Ada lima parameter yang paling berpengaruh terhadap performa *secondary clarifier*, yaitu: - Konsentrasi MLSS yang masuk ke *clarifier* - Debit air limbah - Debit resirkulasi sistem *Activated Sludge* - Luas permukaan *clarifier*, dan - Kemampuan mengendap lumpur.

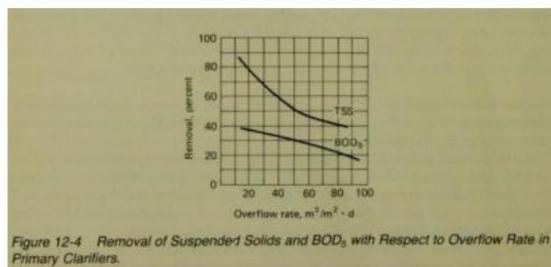
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah. Biasanya dilaksanakan pada industri yang menghasilkan air limbah khusus, yaitu seperti mengandung fenol, nitrogen, fosfat dan bakteri pathogen lainnya. Salah satu contoh pengolahan ketiga ini adalah bangunan *clarifier*. *Clarifier* sama saja dengan bak pengendap pertama. Hanya saja *clarifier* biasa digunakan sebagai bak pengendap kedua setelah proses biologis.

Berikut ini adalah kriteria perencanaan unit *Clarifier*:

Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

i. *Overflow Rate* (OFR)

- *Average* = 30-50 m³/m².hari
- *Peak* = 70-130 m³/m².hari



Gambar 2. 13 Grafik Removal TSS dan BOD Berdasarkan *Overflow Rate*

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

ii. Waktu Tinggal (Td) = 0,6-3,6 jam

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 269)

iii. Dimensi

- Rectangular
- Panjang (L) = 10-100 m
- Lebar (W) = 3-24 m
- Kedalaman (H) = 2,5-5 m
- P : L = 1-7,5 : 1

- $P : H = 4,2-25 : 1$
- Circular
- Diameter (D) = 3-60 m
- Kedalaman (H) = 3-6 m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 271)

- iv. *Flight Speed* = 0,02-0,05 m/menit

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 398)

- v. %Removal TSS = 50%-70%

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 12)

- vi. *Weir Loading Rate* = 125-500 m³/m².hari

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

- vii. Diameter *Inlet Well* = 15%-20% Diameter Bak

- viii. Ketinggian *Inlet Well* = 0,5-0,7 m

- ix. Kecepatan *Inlet Well* = 0,3-0,75 m/s

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, halaman 401)

- x. Bilangan Reynold (NRe) = <1 (Aliran Laminar)

untuk v_s

- xi. Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (Aliran Laminar)

untuk v_h

- xii. Bilangan Freud (NFr) = $>10^{-5}$ (Mencegah Aliran Pendek)

(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)

- xiii. *Specific Gravity* = 1,3-1,5

Suspended Solid

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

- xiv. Slope ke arah *Zona Sludge*

- Rectangular = 1%-2%

- Circular = 40-100 m/m

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 274)

Konsentrasi Solid = 4%-12%

- xv. Cek NRe Partikel < 0,5
- xvi. Syarat terjadinya pengendapan ($T_p < T_d$)
- xvii. Syarat terjadinya penggerusan ($V_{sc} > V_h$)
- xviii. Suhu air buangan 28 °C, sehingga:
 - *Kinematic Viscosity* (ν) = $8,004 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - *Absolute Viscosity* (μ) = $8,004 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
 - Massa Jenis (ρ) = $0,99626 \text{ g/cm}^3$
= $996,26 \text{ kg/m}^3$

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996, Halaman 762)

- xix. Koef. *Manning* (n) = 0,012-0,016
(Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat, 2017)
- xx. Kontrol penggerusan
 - Faktor kisi porositas (β) = 0,05
 - Faktor fraksi hidrolis (λ) = 0,03

Sumber: (Huisman, 1977, Halaman 57)

Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

- i. *Volatile Solid* = 60%-90%
- ii. *Dry Solid* = 3%-8%

Sumber: (Qasim, 1985, Halaman 428)

- iii. *Specific Gravity Suspended Solid* = 1,3-1,5

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003, Halaman 411)

- iv. Massa Jenis (ρ) = $0,99626 \text{ gr/cm}^3$
= $996,26 \text{ kg/m}^3$

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996. Halaman 762)

2.3.9 *Sludge Drying Bed*

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar.

Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

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	
15.	Koef. Keseragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

Gambar 2.14 Kriteria Desain Unit *Sludge Drying Bed*

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

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

- Tebal media

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

- Volume lumpur tiap bed

$$V_b = \text{Lumpur UASB} + \text{Lumpur Clarifier} + \text{Lumpur Sedimentasi}$$

- Volume *sludge drying cake*

$$V_i = V_b \times P_i$$

Keterangan:

$$V_b = \text{Volume lumpur tiap bed}$$

$$P_i = \text{Berat air dalam cake (60 – 70\%)}$$

- Luas permukaan *drying cake*

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

Keterangan:

$$V_i = \text{Volume cake sludge (m}^3\text{)}$$

- Dimensi ruang lumpur tiap bed

$$\text{- Lebar (W)} = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$\text{- Panjang (L)} = 2 \times W$$

- Volume air tiap bed (V_a)

$$V_a = \text{Volume lumpur} - \text{Volume cake}$$

$$V_{\text{underdrain}} (V_u) = \text{Volume air} \times \text{persen underdrain}$$

- Kedalaman *underdrain* (H_u)

$$H_u = \frac{V_u}{A}$$

Keterangan :

$$V_u = \text{Volume Underdrain}$$

$$A = \text{Luas permukaan drying cake}$$

- Kedalaman total (H_{total})

$$H_{\text{total}} = H_{\text{media}} + H_{\text{underdrain}}$$

H bangunan = H total + freeboard untuk pengisian awal lumpur

- Diameter pipa underdrain

$$Q = \frac{Va}{td}$$

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

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

Keterangan :

Va = Volume air tiap bed

D = Diameter pipa *Underdrain*

A = Luas Permukaan *drying cake*

Td = waktu detensi (detik)