

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah

Setiap industri mempunyai karakteristik yang berbeda, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan industri msg mempunyai karakteristik limbah industri msg yang berdeba, menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 52 tahun 2014 limbah cair industri Monosodium Glutamat (MSG) mempunyai karakteristik dan baku mutu antara lain :

2.1.1 BOD

Biological Oxygen Demand (BOD) adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri aerobik melalui proses biologis (biological oxidatioan) secara dekomposisi aerobik. Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD menggambarkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua senyawa organik yang terlarut dan yang sebagian tersuspensi di dalam air. Diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28 °C agar air kembali jernih. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto,1987 hal 6).

Kandungan BOD dalam karakteristik limbah industri MSG sebesar 1.100 mg/L dengan baku mutu yang diijinkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014 sebesar 80 mg/L. Tingginya kandungan diakibatkan dari proses Trypthopan, Cleaning main, Cleaning strainer, Cip membran filter,Alkali cleaning evaporator dan cleaning separator.

2.1.2 COD

Menurut Syed R. Qasim (1985), COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/l) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat). Pengujian nilai COD bertujuan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diakibatkan oleh oksidasi kimia dari bahan organik.

Perbedaan utama dengan uji nilai COD jelas ditemukan pada oksidasi biokimia dari material organik yang dilakukan sepenuhnya oleh mikroorganisme, sedangkan dengan uji nilai COD sesuai dengan oksidasi biokimia dari bahan organik yang diperoleh melalui oksidasi yang kuat (kalium dikromat) dalam media asam.

Kandungan COD pada air limbah industri monosodium glutamat sebesar 2000 mg/L, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah 150 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014).

2.1.3 TSS

TSS dalam air limbah seperti pasir, liat, dan bahan organik. TSS jika dibuang ke badan air akan meningkatkan kekeruhan dalam air dan jika berada di dasar perairan akan mengganggu proses perkembangbiakan hewan – hewan air.

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

Kandungan TSS air buangan kawasan industri ini adalah 600 mg/L, sedangkan baku mutu yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 60 mg/L (Peraturan Gubernur Jawa Timur No 52 Tahun 2014).

2.1.4 Amonia-Nitrogen (NH₃-N)

Amonia-nitrogen (NH₃-N) merupakan salah satu kandungan dalam air limbah domestik. Namun, degradasi bahan organik dalam tahap pengolahan biologis juga memproduksi sejumlah besar senyawa amonia. Melalui proses nitrifikasi biologis, amonia (NH₃) dioksidasi menjadi nitrit (NO₂⁻), dan nitrat (NO₃⁻), oleh bakteri autotrophic aerobik. Hasil akhir dari proses nitrifikasi, yang merupakan nitrat (NO₃⁻) dapat dikurangi menjadi gas nitrogen (N₂) melalui proses de-nitrifikasi dalam kondisi anoxic.

Kandungan ammonia dalam air dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan organisme dalam perairan, secara kimia, keberadaan ammonia dalam air berupa amonia terlarut (NH_3) dan ion ammonium (NH_4^+). Amonia bebas (NH_3) yang tidak berionisasi akan bersifat toksik. Kadar amonia bebas meningkatkan sejalan dengan meningkatnya pH dan suhu perairan. Sifat toksik pada ammonia dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar oksigen terlarut. Kondisi ammonia pada pH rendah akan bersifat racun jika jumlahnya banyak, sedangkan ammonia pada pH tinggi juga akan bersifat racun meskipun jumlahnya rendah. Penurunan oksigen terlarut akan meningkatkan toksisitas ammonia dalam perairan.

Kandungan amonia yang ada di industri terpadu adalah 15 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 (Lampiran IV) tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri terpadu, Amonia-Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) yang diperbolehkan adalah 3 mg/L.

2.1.5 pH (Derajat Keasaman)

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

Nilai pH pada air limbah industri monosodium glutamat ini adalah 3,5 sedangkan baku mutu yang mengatur besar nilai pH hanya sebesar 6,0 – 9,0. (Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014).

2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air buangan mempunyai beberapa tingkat pengolahan air, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre-Treatment*)

Pengolahan limbah cair dilakukan dari saluran pembawa, penyaringan (screening), dan bak pengumpul. Pengolahan limbah cair pada tahap pertamabertujuan untuk :

- Menyisihkan padatan kasar.

- Mereduksi ukuran padatan.
- Menyisihkan pasir.
- Dan menyisihkan padatan yang mengapung dan mengendap.

Berikut ini adalah uraian dari tiap -tiap unit bangunan pengolahan pendahuluan industri monosodium glutamat, antara lain :

2.2.1.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang digunakan untuk menyalurkan atau mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan lainnya. Saluran pembawa biasanya terbuat dari beton. 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).

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Kemiringan / slope = 1.10^{-3} m/m
- Freeboard = 10 - 20%
- Dimensi saluran (W_s) = $B = 2H$

Rumus yang digunakan :

- Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = debit limbah (m^3 /detik)

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

- Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A \text{ (m}^2\text{)}}{B \text{ (m)}}$$

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian Total

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

Freeboard = tinggi jagaan / jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air = 20 %

- Cek Kecepatan

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³ /detik)

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

- Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan

R = jari-jari hidrolis (m)

H = ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Kemiringan (*Slope*)

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

Keterangan :

s = kemiringan saluran / slope (m/m)

n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa

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

R = jari-jari hidrolis (m)

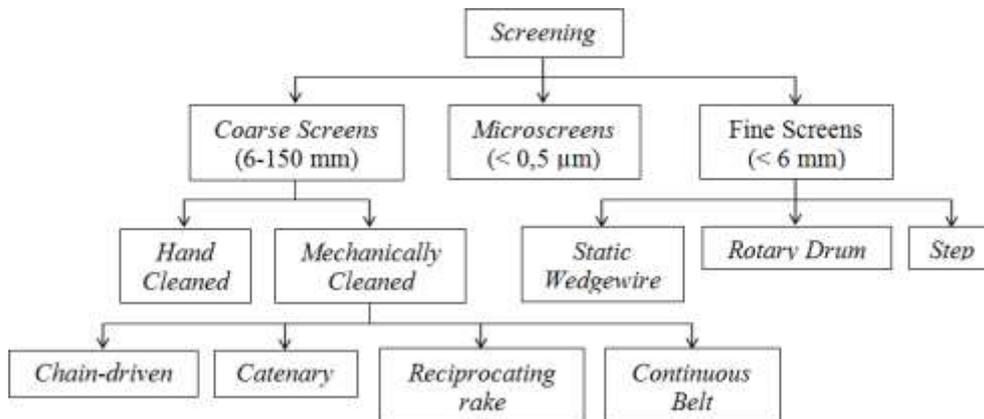
2.2.1.2 *Screening* (Penyaringan)

Bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Prinsip dari screening adalah untuk menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan :

- Kerusakan pada alat pengolahan,
- Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- Kontaminasi pada aliran air.

Screen pada umumnya dibedakan menjadi tiga tipe screen, diantaranya coarse screen, *Fine Screen* dan microscreen. Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). Sedangkan *Fine Screen* mempunyai bukaan kurang dari 6 mm (0,25 inchi). Microscreen pada umumnya mempunyai bukaan kurang dari 50 mikron dan digunakan untuk menghilangkan padatan halus dari effluent. (Metcalf & Eddy, 2003)

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 & Eddy, 2003)



Gambar 2.1 Bagan Jenis – Jenis Screen

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

Tipe – Tipe Screen

1. **Coarse Screen (Saringan Kasar)**

Coarse screen mempunyai bukaan yang berada antara 6-150 mm (0,25-6 inchi). 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.



Gambar 2.2 Manual Bar Screen

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

Tabel 2. 1 Ukuran Bar Screen

No	Bagian – Bagian	Manual	Mekanik
1	Ukuran Kisi		
	a. Lebar	5 – 15 mm	5 -15 mm
	b. Dalam	25 – 38 mm	25 – 38 mm
2	Jarak Antar Kisi	25 – 50 mm	15 – 75 mm
3	<i>Sloop</i>	30° - 45°	0° - 30°
4	Kecepatan Melalui Bar	0,3 – 0,6 m/det	0,6 – 1,0 m/det
5	<i>Headloss</i>	150 mm	150 - 600 mm

Sumber: (Metcalf and Eddy. 2003. “Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse”, 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)



Gambar 2.3 Manual Bar Screen

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2004)

2. *Fine Screen* (Saringan Halus)

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 (*Preliminary 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.

Tabel 2. 2 Kriteria Saringan Halus

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		Inchi	Mm		
Miring (Diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari <i>stainless steel</i>	Pengolahan Primer
	Halus		6×10^{-3} – 35×10^{-3}	<i>Stainless steel</i> dan kain <i>polyester</i>	Menyisihkan residual dari <i>suspended Solid Sekunder</i>
<i>Horizontal Reciprocating</i>	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batangan <i>stainless steel</i>	Gabungan dengan saluran air hujan
<i>Tangential</i>	Halus			Jala-jala yang	Gabungan

		0,0475	1,2	terbuat dari <i>stainless steel</i>	dengan saluran air hujan
--	--	--------	-----	--	--------------------------------

Sumber : (Metcalf and Eddy. 2003. "Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse", 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)

Tabel 2. 3Kemampuan Penyisihan (Fine Screen

Jenis Screen	Ukuran Bukaannya		Kemampuan Penyisihan (%)	
	Inchi	Mm	BOD	TSS
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5-30
<i>Rotary Drum Screen</i>	0,01	0,25	25-50	25-45

Sumber: Sumber : (Metcalf and Eddy. 2003. "Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse", 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, St Fransisco, Auckland)

Rotary Drum Screen memiliki media penyaring yang dibangun dalam silinder yang berputar. *Rotary Drum Screen* pada umumnya memiliki konstruksi yang berbeda dalam penempatan media penyaring di dalamnya, akan tetapi pada umumnya media penyaring diletakkan mengikuti arah aliran air yang melalui media screen. Air buangan biasanya akan dialirkan melalui *rotary drum screen* hingga akhir silinder dan melalui screen yang terpasang pada ujung *rotary drum screen*. Padatan yang tersaring pada screen selanjutnya akan dikumpulkan pada sebuah wadah untuk kemudian disisihkan dari unit proses pengolahan air buangan. *Rotary Drum Screen* pada umumnya digunakan pada air buangan yang memiliki debit yang berkisar antara 0,03-0,8 m³/s dengan rata-rata penggunaan pada debit 0,13 m³/s. *Rotary Drum Screen* dapat dijumpai pada unit pengolahan air buangan dengan diameter antara 0,9-2 m dan panjang antara 1,2-4 m.

3. *Micro Screen*

Microscreen berfungsi untuk menyaring padatan halus, zat / material yang mengapung, serta alga yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Jenis padatan tersuspensi yang dapat tersisihkan dengan menggunakan teknologi microscreen berkisar antara 10-80%, dengan rata-rata 50%.

Prinsip yang digunakan pada jenis screen ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang dari arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0.3 m/s sehingga bahan padatan yang tertahan di depan saringan tidak terjepit dan mengakibatkan microscreen tersumbat. Jarak antar batang biasanya berkisar antara 20-40 mm dengan bentuk penampang batang persegi panjang dengan ukuran 10 mm x 50 mm. Untuk *bar screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 60° terhadap horizontal. (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun faktor bentuk screen antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 4Faktor Bentuk Screen

Jenis Bar	Faktor Bentuk Screen (β)	Bentuk
Segi empat dengan sisi runcing	2,42	
Segi empat dengan sisi bulat runcing	1,83	
Segi empat dengan sisi bulat	1,67	
Bulat	1,79	

(Sumber: Qasim, 1985)

Jenis screen yang digunakan pada perencanaan kali ini adalah coarse screen dengan jenis pembersihan manual. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

- Lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

W_c = lebar bukaan kisi (m)

W_s = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

d = lebar screen (m)

- Kecepatan pada bar screen

$$S = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{W_c \times h}$$

Keterangan :

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

Q = debit yang melalui kisi (m³/detik)

W_c = lebar bukaan kisi (m)

h = kedalaman saluran (m)

- Tinggi kisi (h)

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

Keterangan :

H = kedalaman saluran (m)

- Panjang kisi (x)

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

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45° - 60°)

- Jarak kemiringan kisi (L)

$$L = \cos \alpha \cdot x$$

Keterangan :

α = kemiringan kisi (45° - 60°)

x = panjang kisi (m)

- Headloss pada bar screen (saat clogging)

$$X = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{V_{ic}^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan :

Hf = headloss (m)

Vic = kecepatan melalui kisi saat clogging (Vi x 2) (m/detik)

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

Cc = koefisien headloss untuk bar screen saat clogging (0,6)

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320)

- Headloss pada bar screen (saat non clogging)

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

Keterangan :

Hf = headloss (m)

Vi = kecepatan melalui kisi (m/detik)

V = kecepatan melalui kisi (m/detik)

C = koefisien headloss untuk bar screen saat non clogging (0,6)

(Sumber: Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004. Hal 320)

2.2.1.3 Bak Penampung

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

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

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,6 – 2,5 m/s
- Freeboard = 10-20%
- Waktu detensi (td) = 24 jam (sumber: Qasim, 1999)

- Kedalaman = 4 meter (optimal)

Rumus yang digunakan:

- Volume bak penampung (V)

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan :

V = volume bak (m³)

Q = debit limbah (m³/detik)

t_d = waktu detensi

- Ketinggian total (H total)

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

Keterangan :

H = ketinggian air dalam bak (m)

Freeboard = tinggi jagaan/jarak vertikal dari puncak saluran ke permukaan air
(20%)

- Ketinggian bak penampung

$$V = p \times l \times h$$

Keterangan :

V = volume bak (m³)

p = Panjang bak (m), dengan 2 x l

l = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

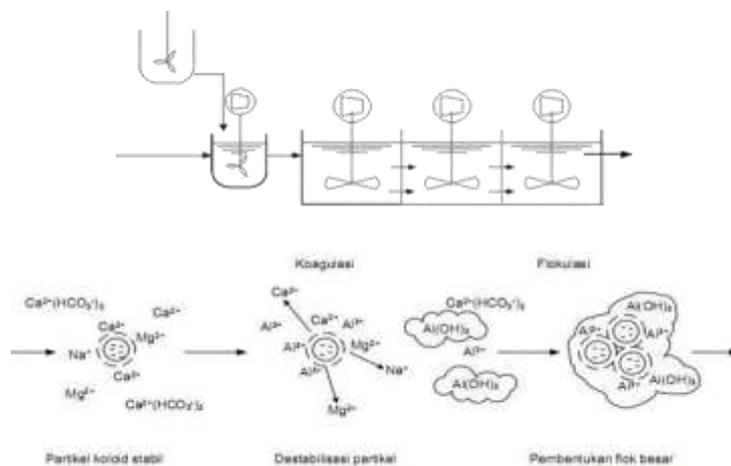
2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

2.2.2.1 Koagulasi-Flokulasi

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 (disebut 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 (misal 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).

Seegera inti 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 2.4).



Gambar 2.4 Gambaran Proses Koagulasi-flokulasi

Sumber: (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

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* (Gambar 2.5) untuk mendapatkan kondisi optimum. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).



Gambar 2.5 Peralatan Jar Test

Sumber: (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

1. 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. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).

a. Jenis Pengadukan

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 *GTd* (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai *G* dan *td* bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

1. Untuk proses koagulasi-flokulasi :

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$

2. Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda) :

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$

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

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

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan pneumatis

- **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 (Ali Masduqi,

Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

1. Untuk air sungai

- $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$

2. Untuk air waduk

- Waktu detensi = 20 - 60 detik

- $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$

3. Untuk air keruh

- Waktu dan G lebih rendah

4. Untuk Bila menggunakan gram besi sebagai kaogulan

- 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):

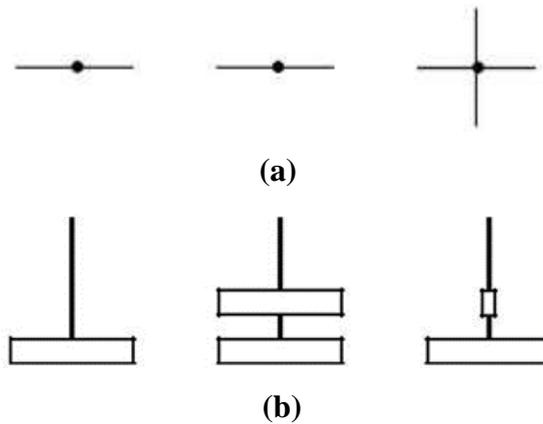
- Waktu detensi = 15 - 30 menit

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

- $GTd = 10.000 - 100.000$

- **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). Bentuk ketiga *impeller* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5, serta Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tipe Paddle

(a) tampak atas, (b) tampak samping

(Sumber : (Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*. New York: Holt, Reinhart and Winston.)



Gambar 2.7 Tipe Turbine

(Sumber: (Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

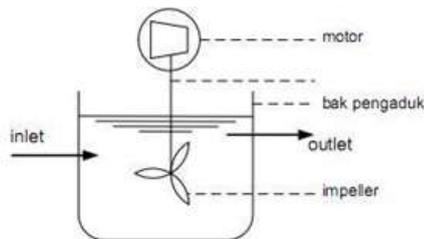


Gambar 2.8 Tipe Propeller

Sumber: (Qasim, S. R. (1985). Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

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.



Gambar 2.9 Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

Sumber: (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

Tabel 2. 5 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

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

(Sumber : Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. (1996). Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition). Boston: PWS Publishing Company.)

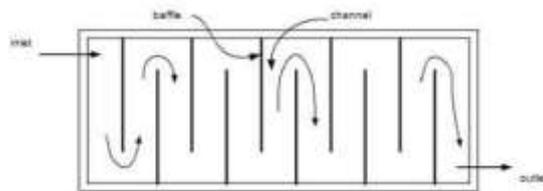
- **Pengadukan Hidrolis**

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.

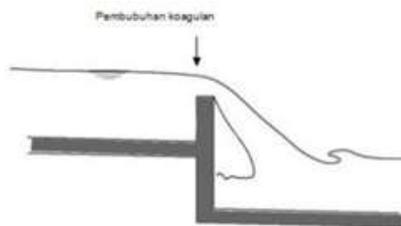
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan

menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan (Gambar 2.8), loncatan hidrolis, dan parshall flume.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis 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, Gambar 2.9), perforated wall, gravel bed dan sebagainya. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)



Gambar 2.10 Pengadukan cepat dengan terjunan



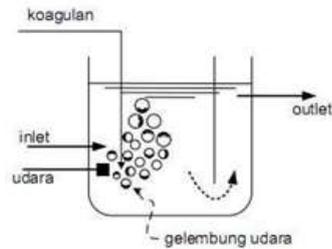
Gambar 2.11 Baffle Channel

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

- **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 2.10). 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 2.12 Pengadukan cepat secara pneumatis

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.)

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. Beberapa jenis koagulan beserta sifatnya dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2. 6 Beberapa jenis koagulan dalam proses 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 Perulfat	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	Copperas	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)

2.2.2.2 Netralisasi

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

- Larutan dikatakan asam bila : $\text{H}^+ > \text{H}^-$ dan $\text{pH} < 7$
- Larutan dikatakan netral bila : $\text{H}^+ = \text{H}^-$ dan $\text{pH} = 7$
- Larutan dikatakan basa bila : $\text{H}^+ < \text{H}^-$ dan $\text{pH} > 7$

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

- Pencampuran limbah
- Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur.
- Pencampuran limbah asam dengan Slurry kapur.
- Penambahan sejumlah NaOH , Na_2CO_3 atau NH_4OH ke limbah asam.
- Penambahan asam kuat ($\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCl}$) dalam limbah basa.
- Penambahan CO_2 bertekanan dalam limbah basa.
- Pembangkitan CO_2 dalam limbah basa.

a. 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 faktor 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 .

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 melewatkan gelembung-gelembung gas melalui air limbah CO_2 ini terbentuk dari carbonic 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 digunakan untuk bangunan netralisasi ini adalah:

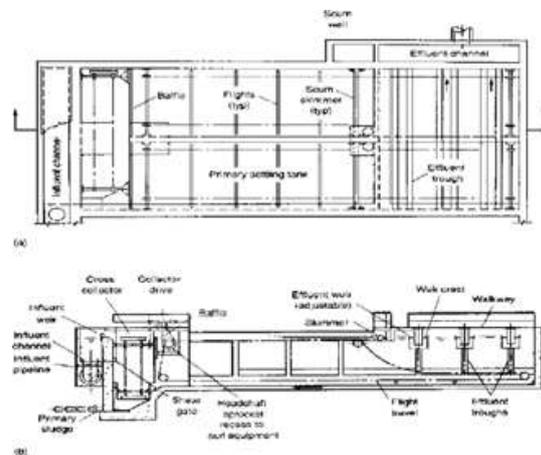
- Sistem batch, yang digunakan untuk aliran air limbah hingga 380 m^3/hari
- Sistem continue, dengan pH control dibutuhkan udara untuk pengadukan dengan minimum aliran air 1-3 ft^3/mm , ft^2 atau 0,3-0,9 m^3/mm , m^2 pada kedalaman 9 ft (2,7 m). Menggunakan sistem pengadukan mekanis, dimana daya yang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

2.2.2.3 Bak Pengendap I

Bak pengendap I adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan Koagulasi – Flokulasi. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)Kecepatan pengendapan tidak dapat ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dankecepatan pengendapan tidak tetap. Besar partikel yang diuji dengan coloumn settling testdan withdrawalports pada waktu tertentu akan menghasilkan data removal sehingga akan didapat grafik isoremoval. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012)

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid dan 25-40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin.
2. Suhu udara permukaan.
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
4. Suhu terstratifikasi dari iklim.
5. Bilangan eddy



Gambar 2.13 Bak Pengendap 1

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

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

Tabel 2. 7 Desain Tangki Sedimentasi I

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment</i>						
Waktu Tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata-Rata	gal/ft ² s	800-1.200	1.000	m ³ /m ² s	30-50	40
Puncak	gal/ft ² s	2.000-3.000	2.500	m ³ /m ² s	80-120	100
Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250
<i>Primary Settling with Waste Activated Sludge Return</i>						
Waktu Tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan Alir						
Rata-Rata	gal/ft ² s	600-800	1.000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	gal/ft ² s	1.200-1.700	1.500	m ³ /m ² s	48-70	60
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² s	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² s	125-500	250

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003)

Tabel 2. 8 Data Perencanaan Untuk Bangunan Sedimentasi I Berbentuk Persegi dan Lingkaran

Item	<i>U.S Customary Units</i>			<i>SI Unit</i>		
	Unit	Rentang	Typical	Unit	Rentang	Typical
Persegi Panjang						
Kedalaman	feet	10-16	14	M	3-4,9	4,3
Panjang	feet	50-300	80-130	M	15-90	24-40
Lebar	feet	10-80	16-32	M	3-24	4,9-9,8
<i>Flight Speed</i>	ft/min	2-4	3	m/min	0,6-1,2	0,9
Lingkaran						
Kedalaman	feet	0-16	14	M	3-4,9	4,3
Diameter	feet	10-200	40-150	M	3-60	12-45
Kemiringan Dasar	In/ft	0,75-2	1	mm/mm	1/16-1/6	1/12
<i>Flight Speed</i>	r/min	0,02-0,05	0,03	r/min	0,02-0,05	0,03

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003)

2.2.3 Pengolahan Sekunder (Secondary – Treatment)

Pengolahan kedua ini mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan – bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kotoran yang ada dan sebagainya.

Pengolahan Sekunder akan memisahkan komponen organik terlarut dengan proses biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD dan COD antara 75 – 90 % serta SS sebesar 90 %.

2.2.3.1 Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif adalah sistim pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah heterotrophic. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon adalah organik karbon. BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat. Bahan organik dalam air buangan akan diuraikan

oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, amonia dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (sludge). Bakteri juga perlu respirasi dan melakukan sintesa untuk kelangsungan hidupnya. Pada reaksi respirasi terlihat bahwa ultimate BOD untuk sel sebesar 1.42 kali konsentrasi sel.

Modifikasi Proses

Modifikasi proses pada lumpur aktif sistem dapat dilakukan dengan :merubah konfigurasi sistem inlet.merubah konfigurasi parameter utama seperti F/M ratio, rasio resirkulasi, umur lumpur dan lain-lain. merubah dengan oksigen murni dan lain-lain. Tipe-tipe hasil modifikasi dan apa yang membedakannya, adalah sebagai berikut:

a. Step aerasi

Merupakan tipe plug flow konvensional yaitu rasio F/M menurun menuju ke outlet. Inlet air buangan masuk melalui 3 - 4 titik di tanki aerasi dengan maksud untuk menyetarakan F/M rasio dan mengurangi tingginya kebutuhan oksigen di titik yang paling awal. Keuntungannya adalah mempunyai volumetric loading yang tinggi dan HRT yang lebih pendek.

b. Tapered Aeration

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

c. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat dua tanki yaitu : contact tank yang berfungsi untuk mengabsorb bahan organik untuk proses lumpur aktif. Reaeration tank yang berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah diabsorb. (proses stabilisasi).

d. Pure Oxygen

Oksigen murni diinjeksikan ke tanki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai F/M ratio dan volumetric loading yang tinggi, serta HRT yang lebih pendek.

e. Oxidation ditch

Bentuk oxidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0.25 - 0.35 m/s.

f. Hight rate aeration

Kondisi ini dicapai dengan meninggikan harga rasio resirkulasi (r), atau debit air yang dikembalikan dibesarkan 1 – 5 kali. Dengan cara ini maka akan diperoleh jumlah mikroorganisme yang lebih besar, sehingga mempunyai kinerja F/M dan Volumetric loading yang tinggi, dan HRT yang lebih pendek. Pada sistem ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah.

g. Hight rate aeration

Pada sistem ini reaktor mempunyai umur lumpur dan HRT yang lebih lama, sehingga lumpur yang dibuang/dihasilkan akan lebih sedikit.

2.2.3.2 Biofilter Aerobik

Biofilter Aerob adalah unit pengolahan air limbah dengan prinsip biofilm atau biofilter terendam yang dialirkan air limbah ke dalam reactor biologis yang telah terisi dengan media untuk perkembangbiakan bakteri dengan penambahan oksigen melalui aerasi. Terdapat beberapa cara untuk meninjeksikan oksigen antara lain aerasi samping, aerasi tengah, aerasi merata, aerasi eksternal, aerasi dengan air lift pump, dan aerasi dengan cara mekanik. Sistem aerasi atau injeksi oksigen bergantung pada jenis media yang dipakai dan efisiensi yang akan di capai (Said, 2017).

Beban Pencemar biofilter aerob lebih rendah sehingga ditempatkan setelah proses anaerob terjadi. Effluen pengolahan anaerobik masih mengandung zat organik dan nutrisi dikonversi menjadi sel bakteri baru, hydrogen maupun karbon dioksida oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen. Parameter polutan yang ada pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, dan fosfor akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Parameter polutan tersebut didegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada lapisan biofilm dengan menggunakan oksigen yang terlarut. Sehingga energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Di dalam reaktor biofilter diisi dengan media plastik tipe sarang tawon pemberian aerasi dengan menghembuskan udara melalui diffuser untuk membantu mikroorganisme mengurai zat organik. Mikroorganisme akan tumbuh dan menempel pada media, mikroorganisme yang tumbuh dapat secara tersuspensi

maupun melekat sehingga dapat meningkatkan efisiensi penguraian bahan organik, deterjen serta proses nitrifikasi dan penyisihan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini merupakan aerasi kontak (Said, 2017).

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. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian Said (2017), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon.

2.2.4 Pengolahan Tersier (Tertiary – Treatment)

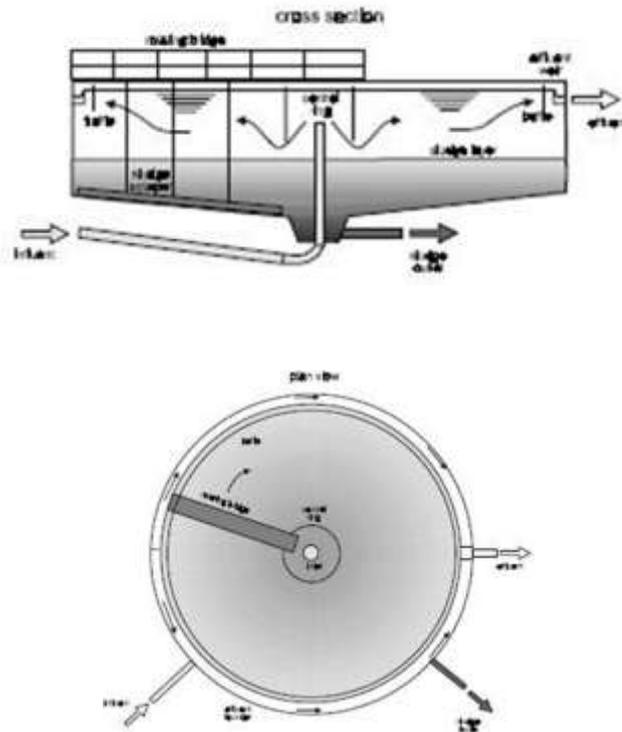
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

2.2.4.1 Bak Penedap II

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

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1–2 jam. Kedalaman clarifier rata – rata 10 – 15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge

blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).



Gambar 2.14 Denah dan Potongan Clarifier

(Sumber : Google Image)

2.2.4.2 Pengolahan Lumpur

Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan.

Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena :

- Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
- Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
- Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

- Mereduksi kadar lumpur
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

2.2.4.3 Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed merupakan metode pemisah air dari *sludge* yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. *Sludge Drying Bed* secara umum digunakan untuk mengurangkan kadar air kandungan *biosolid* dan lumpur / *sludge* yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (*landfill*). (Metcalf & Eddy, 2003).

Keuntungan penggunaan *Sludge Drying Bed* diantaranya adalah :

- Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan,
- Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan,
- Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses pengeringan. (Metcalf & Eddy, 2003)

Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan *Sludge Drying Bed* seperti yang telah disebutkan di atas, *sludge drying bed* juga memiliki beberapa kerugian, di antaranya :

- Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya,
- Dibutuhkan lahan yang lebih luas,
- Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan *sludge* / lumpur. (Metcalf & Eddy, 2003)

Dalam prosesnya, *Sludge Drying Bed* dibedakan menjadi lima (5) jenis, diantaranya :

- *Conventional Sand Sludge Drying Bed*
- *Paved Sludge Drying Bed*
- *Artificial Media Sludge Drying Bed*
- *Vacuum Assisted Sludge Drying Bed*
- *Solar Sludge Drying Bed* (Metcalf & Eddy, 2003)

2.2.4.4 Conventional Sand Sludge Drying Bed

Conventional Sand 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, 2003)

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada sludge drying bed. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / sludge ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki effective size antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed. (Metcalf & Eddy, 2003)

Pipa inlet pada bangunan sludge drying bed harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran sludge dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi sludge drying bed guna mengurangi kecepatan alir saat sludge memasuki bangunan pengering. (Metcalf & Eddy, 2003)

Padatan pada sludge drying bed hanya dapat dikuras dari bangunan sludge drying bed setelah sludge mengering. Sludge / lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam sludge / lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurusan dapat dikatakan selesai apabila sludge / lumpur telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan. (Metcalf & Eddy, 2003)

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor sludge drying bed dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. (Metcalf & Eddy, 2003)

Sistem Underdrain adalah sistem pengaliran air di bawah media setelah air melewati proses penyaringan. Persyaratan sistem unnderdrain adalah :

- Dapat mendukung media diatasnya
- Pendistribusian merata

Pada bagian dasar terdiri dari sistem perpipaan yang tersusun dari lateral dan manifold, dimana air diterima melalui lubang orifice yang diletakkan pada pipa lateral

Manifold dan lateral ditujukan agar distribusi merata, headloss 1 – 3 m dengan kriteria sistem manifold – lateral

- Perbandingan luas orifice = 0,0015 – 0,005
- Perbandingan luas lateral/orifice = 2 – 4
- Perbandingan luas manifold/lateral = 1,5 – 3
- Diameter orifice = 0,6 – 2 cm
- Jarak antar orifice = 7,5 – 30 cm
- Jarak antar lateral = orifice

2.3 Persen Removal

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

Tabel 2. 9 Persen Removal Unit Pengolahan Air Limbah

Unit Yang Digunakan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber/Literatur
Netralisasi	pH	93,2%	Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy, hal. 527
Sedimentasi	BOD	50 – 80 %	Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy, hal. 497 dan 396
	TSS	50 – 70%	Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Metcalf & Eddy, hal. 527
Activated Sludge	BOD	85 – 95 %	Sperling, Biological Wastewater Treatment Series, tahun 2007 Vol 5 hal. 13
	COD	50 – 95 %	Cavaseno, V.(1987), “Industrial Waste Water and Solid Waste Engineering”, McGraw-Hill,Inc., New York. Hal 15
	NH ₃ -N	85 – 95 %	Sperling, Biological Wastewater Treatment Series, tahun 2007 Vol 5 hal. 13
Biofilter Aerobik	BOD	70-95%	Said, Nusa Idaman. 2017. Teknologi Pengolahan Air Limbah. Hal 305
	COD	86%	jurnal Air Indonesia Vol.1 No.1 (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik

Unit Yang Digunakan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber/Literatur
			Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. Hal 9
	TSS	80-90%	Pamungkas, E. (2015). Studi kinerja biofilter aerob untuk mengolah air limbah laundry (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
	NH3	89-97%	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.20 No.2 (2019). Pengolahan Nitrifikasi dan Denitrifikasi Limbah Fosfat dengan Biofilter Tercelup. Hal 243
Clarifier	TSS	50 – 70 %	Huisman, L. 1977 Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Delft.hal 12

2.4 Profil Hidrolis

2.4.1 Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan.

2.4.2 Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup.

h. Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.

i. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S.

j. Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak factor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya

k. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram

2.4.3 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. Tambahkan 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 . Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air.

2.4.4 Pompa

Pemompaan digunakan untuk mengalirkan air limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Untuk mengetahui macam-macam karakteristik pompa bisa dilihat pada tabel.

Tabel 2. 10 Jenis-jenis Spesifikasi Pompa

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

(Sumber : *Metcalf and Eddy*, 2004, hal : 1469-14