

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Rokok

Dalam kegiatan operasional dari industri rokok sendiri terbagi menjadi dua kegiatan, yakni kegiatan utama dan kegiatan penunjang, dimana kegiatan utama dari industri rokok ini yakni berupa kegiatan produksi rokok seperti pada proses ekstrak, *primary processing* dan proses filter. Pada proses ekstrak membutuhkan air bersih sekitar 64,44 m³/hari dan pencucian peralatan unit ekstrak membutuhkan air bersih sebesar 16,11 m³/hari. Selain pada kegiatan produksi, kegiatan utama yang menghasilkan air limbah adalah laboratorium. Sedangkan kegiatan penunjang ini berupa kegiatan yang menunjang untuk kegiatan utama. Sebuah kegiatan dan/usaha khususnya dalam proses kegiatan operasionalnya pastinya tidak dapat dipungkiri bahwa akan menghasilkan sebuah limbah, baik berupa limbah cair, emisi gas buang, dan limbah padat. Oleh karena itu, dalam kegiatan dan/atau usaha industri rokok ini dapat dipastikan menimbulkan sebuah limbah dimana salah satunya yakni limbah cair yang berasal dari kegiatan utama maupun kegiatan penunjang sampai 35 m³/hari. Sumber-sumber dari kegiatan operasional industri rokok yang menghasilkan limbah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Kegiatan Utama dan Penunjang Industri Rokok

Air Limbah Industri Rokok			
No	Jenis Air Limbah	Area	Identifikasi Air Limbah
1	Kegiatan Utama	<i>Primary Processing</i>	1. Proses Pencucian Alat 2. Proses Ekstrak
2		Riset dan Development Produk	
3		Proses Ekstrak	
4		Proses Filter	
5		Laboratorium	
6	Kegiatan Penunjang	<i>Secondary Processing</i>	1. Proses Pencucian Alat 2. Air Limbah Domestik 3. Air Kondensat 4. Kompresor
7		Blowdown Boiler	
8		Domestik Sanitasi	
9		Kantin	

Air Limbah Industri Rokok			
No	Jenis Air Limbah	Area	Identifikasi Air Limbah
10		<i>Other Manufacturing</i>	1. Proses Pencucian Alat

Sumber : Industri Rokok PT. X

2.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Rokok

Air limbah adalah hasil yang tersisa dari aktivitas atau operasi yang berbentuk cairan. Ini terdiri dari campuran cairan dan bahan-bahan buangan yang timbul sebagai hasil dari proses yang terjadi dalam industri, rumah tangga, bisnis, air bawah tanah, air permukaan, serta sumber-sumber limbah cair lainnya. Jika tidak dikelola dengan efektif, air limbah dapat berdampak negatif pada ekosistem dan lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007). Karakteristik air limbah yang dihasilkan oleh industri rokok ini mulai dari proses pelunakan cengkeh, pelunakan tembakau, proses pembersihan peralatan (*cleaning*), dan sisa operasional peralatan utilitas (*chiller, boiler, dan colling tower*) perlu dipahami karena hal ini akan menentukan cara yang tepat dalam menentukan sistem pengolahannya. Kualitas air limbah sendiri dapat dikalsifikasikan menjadi tiga jenis, yakni fisika, kimia, dan biologis. Berikut merupakan karakteristik air limbah industri dari industri rokok:

Tabel 2. 2 Karakteristik Air Limbah Industri Rokok

No	Parameter	Satuan	Hasil
1	pH	pH Units	5
2	Biological Oxygen Demand	mg/L	120
3	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	200
4	Total Suspended Solids (TSS)	mg/L	107
5	Oil and Grease	mg/L	22
6	Total Ammonium, NH ₃ -N	mg/L	<0,0002
7	Fenol	mg/L	14,50

Sumber : Data Perencanaan, 2024

2.2.1 Derajat Keasaman (pH)

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

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

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

Untuk pH yang ada di industri rokok adalah 5, sedangkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, tingkat keasaman yang diperbolehkan berada pada rentang antara 6-9.

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

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

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

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

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

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

Kandungan COD yang ada di industri rokok adalah 200 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu kategori III, COD yang diperbolehkan adalah 160 mg/L.

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

TSS (Total Suspended Solid) adalah jumlah padatan tidak terlarut di dalam air yang diukur dengan metode gravimetri atau spektrofotometri dan dinyatakan dengan satuan mg/l. Partikel padat ini dapat timbul dari mineral-mineral seperti silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau hasil dari dekomposisi organisme hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan jenis lainnya. Kehadiran TSS dapat mengakibatkan air menjadi keruh atau mengubah warnanya (Said, 2017).

TSS (Total Suspended Solid) sendiri mengacu pada total padatan yang terjebak di dalam filter yang memiliki pori-pori dengan ukuran tertentu, dan nilainya dihitung setelah padatan tersebut dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk mengukur TSS (Total Suspended Solid) adalah filter serat kaca Whatman dengan pori-pori berukuran 1,58 µm. Sementara itu, TS adalah sisa padatan yang tinggal setelah air limbah menguap dan dikeringkan pada suhu yang telah ditentukan, yaitu sekitar 103 hingga 105°C (Metcalf & Eddy, 2003).

TSS (Total Suspended Solid) adalah penyebab utama ketidak jernihan dalam air yang disebabkan oleh partikel-partikel yang mengambang di dalam air,

yang dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air. Ketidakhijauan ini dapat menghambat penembusan sinar matahari yang diperlukan oleh mikroorganisme dan fitoplankton untuk melakukan fotosintesis. TSS mencakup semua jenis padatan yang ada dalam air, termasuk yang bersifat organik maupun anorganik. Oleh karena itu, kandungan TSS pada limbah cair yang berasal dari kegiatan operasional industri rokok ini yakni sebesar 107 mg/l, sedangkan baku mutu yang diizinkan untuk TSS (Total Suspended Solid) dari industri rokok sebesar 100 mg/l.

2.2.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam proses biokimia untuk mengurai materi organik dalam kondisi aerobik. Alasan untuk melakukan uji BOD adalah: untuk mengukur sejauh mana oksigen diperlukan untuk mengurai bahan organik secara biologis dengan akurat, menentukan kapasitas unit pengolahan limbah, mengevaluasi efisiensi pengolahan, dan menilai kepatuhan terhadap regulasi pembuangan air limbah yang berlaku (Metcalf & Eddy, 2003).

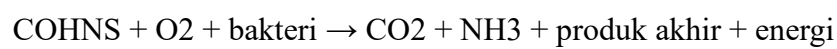
Pemeriksaan BOD5 diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik atau industri dan juga untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis bagi air (Sawyer & McCarty, 1978). Biological Oxygen Demand (BOD) adalah parameter kimia yang digunakan untuk menilai kualitas perairan. Nilai BOD memiliki signifikansi penting sebagai penanda kualitas perairan. Tingkat BOD yang tinggi mengindikasikan jumlah oksigen terlarut yang rendah dalam perairan. Menurut Salmin (2005), situasi ini dapat menyebabkan kematian organisme perairan seperti ikan akibat kurangnya oksigen terlarut (anoksi). Hasil pengujian BOD berguna untuk memperkirakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan zat organik secara biologis serta untuk menentukan dimensi unit pengolahan dan efisiensinya (Sugiharto, 1987).

BOD5 adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga

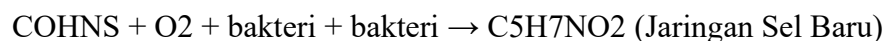
limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 1987).

Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

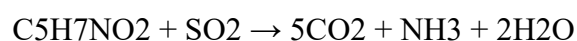
Oksidasi:



Sintesis:



Respirasi endogen:



(Metcalf & Eddy et al., 2007)

2.2.5 Minyak Lemak

Minyak dan lemak pada dasarnya adalah senyawa yang serupa, keduanya merupakan bahan (ester) yang terbentuk dari alkohol atau gliserol (gliserin) dan asam lemak. Gliserida asam lemak yang berwujud cair pada suhu normal disebut minyak, sementara yang berwujud padat disebut lemak. Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, hal ini dapat mengganggu ekosistem biologis di permukaan perairan dan menyebabkan pembentukan lapisan yang menghambat penetrasi cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk

membentuk lapisan yang menghalangi cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in) (Metcalf & Eddy, 2003).

Minyak dan lemak bereaksi membentuk ester dengan alkohol atau gliserol, bersama dengan asam lemak. Gliserida yang terbentuk dari asam lemak ini berwujud cairan pada kondisi biasa dikenal sebagai minyak, sedangkan dalam bentuk padat dan tebal, disebut lemak. Lemak termasuk dalam kategori bahan organik yang stabil dan sulit diurai oleh bakteri. Dalam konteks manajemen air limbah, efek negatifnya dapat menyebabkan masalah pada dua aspek, yaitu dalam saluran air limbah dan pada fasilitas pengolahan air limbah. Jika lemak tidak dihapus sebelum dibuang ke dalam saluran air limbah, hal ini dapat mengganggu ekosistem di permukaan air dan membentuk lapisan tipis di permukaan air, yang disebut sebagai selimut. Kandungan lemak sekitar 15-20 mg/L dianggap sebagai batas toleransi yang dapat diterima ketika lemak berada dalam air limbah (Sugiharto, 1987).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa minyak dan lemak merupakan jumlah minyak dan lemak yang terlarut dan tidak terlarut dalam air, dinyatakan dalam satuan mg/l. Minyak lemak dalam proses biologi merupakan *inhibitor* atau penghambat yang harus dihilangkan sebelum masuk ke dalam proses biologi.

2.2.6 Fenol

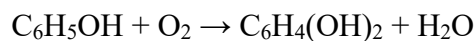
Pada proses pewarnaan dan pembilasan rokok dapat menghasilkan air limbah yang berwarna. Zat warna yang dapat digunakan antara lain phenol dan logam. (Potter dkk, 1994).

Kandungan Phenol air buangan Industri Rokok ini adalah 50, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan phenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5. Phenol merupakan padatan tidak berwarna, dan bersifat higroskopis. Phenol merupakan racun protoplasma dan bersifat toksik terhadap segala jenis sel, kadar phenol yang tinggi akan mengendapkan protein tanpa koagulasi.

Dalam proses penguraian parameter Fenol, terjadi melalui proses degradasi biologis dengan bantuan enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme. Tahapan utama meliputi :

a. Degradasi Primer

Fenol diubah menjadi katekol (Catechol) melalui enzim fenol hidrolase atau fenol mono – oksigenase, berikut adalah reaksi kimia penguraian fenol :



Penjelasan :

Fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) bereaksi dengan oksigen (O_2) membentuk katekol $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ dan air (H_2O)

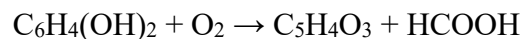
b. Degradasi Lanjutan

Katekol mengalami pembukaan cincin aromatik melalui jalur orto (ortho-cleavage) atau jalur meta (meta-cleavage), yang akhirnya menghasilkan senyawa sederhana seperti asam piruvat dan asetaldehida yang masuk ke dalam siklus Krebs. Berikut adalah reaksi kimia pembukaan cincin aromatik :

Jalur Ortho (Ortho – Cleavage) :

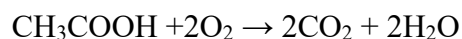


Jalur Meta (Meta – Cleavage) :



c. Respirasi Mikroba

Senyawa hasil degradasi dioksidasi sepenuhnya menjadi CO_2 dan air dengan pelepasan energi yang digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Berikut adalah reaksi kimia untuk respirasi mikroba :



Reaksi utama dalam penguraian fenol melibatkan hidroksilasi fenol, pembukaan cincin aromatik, dan oksidasi lengkap menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). (Metcalf & Eddy, 2003) (Tchobanoglous dkk, 2004)

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi penguraian fenol, meliputi :

- a. Konsentrasi Fenol
 - Fenol pada konsentrasi rendah (biasanya di bawah 200 mg/L) dapat terurai dengan baik.
 - Konsentrasi tinggi bersifat toksik dan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme.
- b. pH
 - pH optimal untuk penguraian fenol berada pada kisaran 6,5–8,5.
 - pH yang terlalu asam atau basa dapat menghambat aktivitas enzim mikroba.
- c. Kandungan Oksigen
 - Oksigen yang cukup (DO sekitar 2–3 mg/L) diperlukan untuk proses degradasi aerobik.
 - DO yang rendah dapat mengurangi laju penguraian fenol.
- d. Waktu Retensi Hidraulik (HRT)
 - Waktu retensi yang lebih lama memungkinkan degradasi fenol yang lebih efektif
- e. Mikroorganisme Spesifik
 - Mikroba seperti *Pseudomonas putida*, *Bacillus*, dan beberapa spesies *Acinetobacter* memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi fenol.
 - Bioaugmentation dengan mikroba yang spesifik dapat meningkatkan efisiensi penguraian.
- f. Rasio F/M
 - Rasio F/M yang seimbang penting untuk memastikan pertumbuhan biomassa yang optimal dan degradasi fenol yang efisien.

Berdasarkan faktor faktor diatas, konsentrasi fenol dapat diuraikan dengan sistem pengolahan yang berbasis penambahan oksigen, umumnya pada pengolahan air limbah digunakan unit pengolahan Activated Sludge, Oxidation Ditch, dan juga Aerated Lagoon.

2.2.7 Ammonia

Ammonia berfungsi sebagai nutrisi bagi tanaman air dan mikroba fotosintetik seperti cyanobacteria dan mikroalga. Oleh karena itu, konsentrasi amonia dalam air harus diatasi agar tidak terjadi ledakan jumlah organisme fotosintetik seperti algae blooming.

Ammonia (NH_3) adalah senyawa alkali dalam bentuk gas yang tidak berwarna dan dapat larut dalam air. Pada konsentrasi di bawah 1 ppm, dapat terdeteksi bau yang sangat tajam. Ammonia berasal dari proses reduksi zat organik (HOCNS) melalui proses mikrobiologis. Kandungan NH_3 yang tinggi dalam air selalu menunjukkan adanya tingkat pencemaran. Dari sudut pandang estetika, NH_3 memiliki rasa dan bau yang sangat tidak sedap, sehingga kadar NH_3 harus dipertahankan rendah. Dalam air minum, kandungan NH_3 harus mencapai 0, sedangkan dalam air permukaan, kadar NH_3 harus berada di bawah 0,5 mg/l N (Alaerts dan Santika, 1987).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan pengolahan air limbah adalah menghilangkan parameter pencemar dalam air limbah sehingga air tersebut memenuhi standar mutu yang dapat dibuang ke badan air. Proses pengolahan air limbah terbagi menjadi tiga tahap berdasarkan urutan: pengolahan pendahuluan (Pre Treatment), pengolahan primer (Primary Treatment), pengolahan sekunder (Secondary Treatment), dan pengolahan lumpur (Sludge Treatment). Pengolahan primer fokus pada penghilangan padatan tersuspensi, koloid, dan penetralan, sedangkan pengolahan sekunder menyisihkan senyawa organik terlarut secara biologis. Pengolahan lanjut bertujuan menghasilkan air effluent dengan kualitas yang lebih baik untuk penggunaan atau pembuangan ke lingkungan (Said, 2017).

2.3.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah media yang mengalirkan air dari satu struktur ke struktur pengolahan air limbah lainnya. Terdapat dua jenis saluran pembawa, yaitu yang berbentuk kotak dan melingkar. Mereka dapat terbuat dari beton atau pipa,

dan keduanya dapat didesain dengan sistem penyaluran air limbah tertutup atau terbuka (Hermana et al., n.d.). Saluran ini memiliki kemampuan untuk mengalirkan air dengan mempertimbangkan perbedaan ketinggian sekitar 10 meter antara satu bangunan dan bangunan lainnya. Biasanya, setiap 10 meter pada saluran pengantar terdapat bak pengendali yang bertujuan mengatur jumlah aliran air yang dikeluarkan. Ketika saluran ini datar, air tidak akan mengalir, sehingga diperlukan kemiringan (*slope*) untuk memungkinkan aliran air (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi menjadi dua jenis, yakni saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terbuka dan terpengaruh oleh kondisi atmosfer. Terdapat berbagai bentuk saluran terbuka, seperti trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, atau bahkan kombinasi bentuk tersebut. Sementara itu, saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tertutup dan tidak terpengaruh oleh kondisi atmosfer. Saluran tertutup sering ditanam pada kedalaman tertentu dalam tanah dan disebut sebagai sistem sewerage. Meskipun tertutup, aliran air dalam saluran ini masih mengikuti gaya gravitasi, seperti yang terjadi pada saluran terbuka. Saluran terbuka umumnya terdiri dari beton cor dengan berbagai bentuk seperti persegi, trapesium, atau setengah lingkaran. Karena terbuka, saluran ini memiliki kontak langsung dengan udara. Saluran terbuka digunakan untuk mengalirkan air hujan atau limbah yang tidak memiliki dampak merugikan terhadap kesehatan dan lingkungan, sehingga memerlukan area yang cukup luas (Wesli, 2008).



Gambar 2. 1 Saluran Terbuka

Saluran tertutup sendiri dipergunakan untuk mengalirkan air limbah atau air yang mengandung polutan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Air limbah yang mengalir melalui saluran tertutup tidak terpapar pada udara luar dan tidak memiliki kontak langsung dengan atmosfer. Saluran tertutup ini biasanya menggunakan pipa, dengan pertimbangan yang cermat terhadap jenis bahan yang digunakan sesuai dengan karakteristik limbah yang dibuang (Wesli, 2008).



Gambar 2. 2 Saluran Terbuka

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini:

- **Kriteria Perencanaan**

Adapun kriteria perencanaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Freeboard = 5% - 30%

Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

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

Tabel 2. 3 Koefisiensi Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0.012 – 0.015
2	Dengan Lapisan Semen	0.012 – 0.013
3	Pipa Berlapis Gelas	0.011 – 0.017

No.	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
4	Pipa Asbestos Semen	0.010 – 0.015
5	Saluran Pasangan Batu Bata	0.012 – 0.017
6	Pipa Beton	0.012 – 0.016
7	Pipa Baja Spiral dan Pipa Ketingan	0.013 – 0.017
8	Pipa Plastik Halus (PVC)	0.002 – 0.012
9	Pipa Tanah Liat (Vitrified Clay)	0.011 – 0.015

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

- **Rumus yang Digunakan**

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

Tabel 2. 4 Rumus Perencanaan Saluran Pembawa

RUMUS PERENCANAAN SALURAN PEMBAWA	
Luas Permukaan (A)	
$A = \frac{Q}{v}$	Keterangan : A = Luas permukaan saluran pembawa (m ³) Q = Debit air limbah (m ³ /s) V = Kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)
Dimensi Pipa (D)	
$A = \pi \times \frac{Q}{v}$	Keterangan : A = Luas permukaan saluran pembawa (m ²) D = Diameter Pipa (m) $\pi = phi$ dengan besar 3,14
Jari – Jari hidrolis (R)	
$R = \frac{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \times D}$	Keterangan : n = Koefisien kekasaran manning R = jari – jari hidrolis (m) L = Panjang pipa (m)
Slope Pipa	
$S = \frac{Hf}{L}$	Keterangan : S = Kemiringan Pipa (m/m) Hf = Kehilangan tekanan pipa (m) L = Panjang Pipa

2.3.2 Screening/Bar Screen

Unit pertama yang digunakan dalam pengolahan air limbah adalah screening atau penyaringan. Unit screening berfungsi untuk menghilangkan padatan yang berukuran besar pada air limbah. Screen dipasang melintang arah aliran air agar padatan kasar dapat tersaring dengan kecepatan yang digunakan lebih dari 3 m/s. Saat air limbah dilewatkan unit penyaring, padatan akan tertinggal atau tersaring tidak terjepit (Metcalf & Eddy, 2003).

Apabila padatan kasar lolos sebelum pengolahan limbah, akan menyebabkan kerusakan pada alat pengolah limbah sehingga dapat menyebabkan berkurangnya efektifitas pengolahan. Secara umum, screen dibedakan berdasarkan jenis saringannya yaitu saringan kasar dan halus. Berdasarkan jenis saringannya berikut adalah tipe tipe Screening (Metcalf & Eddy, 2003) :

a. Fine Screen (Saringan Halus)

Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran 2,3 – 6 mm. Biasanya digunakan untuk pengolahan pendahuluan (pre-treatment) maupun pengolahan pertama atau utama (primary treatment). Fine Screen terdiri dari fixed dan movable Screen. Fixed Screen atau static dipasang secara permanen dalam posisi vertikal, miring, atau horizontal, dan harus dibersihkan dengan garu, 12 gigi, atau sikat. Pada movable Screen pembersihan dilakukan secara terus menerus selama pengoperasian (Qasim, 1985). Jenis saringan halus yang dikembangkan adalah ayakan kawat (static wedgewire), drum putar (rotary drum) dan anak tangga (step type) sesuai (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 3 Ayakan Kawat (Static Wedge Wire)



Gambar 2. 4 Drum Putar (Rotary Drum)



Gambar 2. 5 Anak Tangga (Step Tupe)

b. Micro Screen

Micro Screen merupakan saringan yang memiliki ukuran kurang dari 0,5 μm dan digunakan untuk menyaring material mengapung, alga, dan benda di dalam limbah yang berukuran kecil. Bentuk Micro Screen dapat dilihat pada Gambar 2 . 6.



Gambar 2. 6 Micro Screen

c. Coarse Screen

Coarse Screen berbentuk seperti batangan paralel, umumnya dikenal sebagai "bar screen" digunakan untuk menyaring padatan kasar yang berukuran antara 6mm - 150mm seperti ranting kayu, kain dan kotoran lainnya. Coarse Screen berfungsi untuk melindungi pompa, valve, pipa dan peralatan lainnya terhadap kerusakan atau tersumbat oleh benda-benda

tersebut. Metode pembersihan bar screen terbagi menjadi dua yaitu manual dan mekanik.

Pembersihan manual biasanya dilakukan di industri kecil atau menengah. Prinsip yang digunakan adalah material padat yang kasar dihilangkan dengan rangkaian material baja yang ditempatkan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan arah aliran adalah 0,3 - 0,6 m/s sehingga padatan tidak tertahan di depan saringan tidak terjepit. Jarak antar batang biasanya 20-40 mm dan penampang batang berbentuk persegi panjang. Bar Screen dibersihkan secara manual, biasanya layar dimiringkan 30° hingga 45° ke arah horizontal.



Gambar 2. 7 Coarse Screen (Saringan Kasar)

Kriteria Perencanaan untuk desain screen dengan pembersihan manual atau mekanis, baik coarse screen maupun fine screen, meliputi:

Tabel 2. 5 Kriteria Perencanaan Bar Screen

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	25 – 38
Jarak Antar Batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	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 – 3,0 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Headloss (max)	6 in	5 – 24 in	150 mm	150 – 600 mm

Sumber : Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 halaman 315-316

- Koef saat non clogging (c) = 0,7
- Koef saat Clogging (Cc) = 0,6

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) Waste Water Engineering Treatment & Reuse 4th Edition, Hal 320)

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

Tabel 2. 6 Rumus Perencanaan Bar Screen

RUMUS PERENCANAAN BAR SCREEN	
MENGHITUNG BAK	
<u>Menghitung Volume Bak</u>	
$Q = \frac{V}{T}$ $V = Q \times T$	Keterangan : Q = Debit air limbah (m ³ /s) T = Waktu detensi (s) V = Volume bak kontrol (m ³)
<u>Menghitung Dimensi Bak</u>	
$V = L \times W \times H$	Keterangan : V = Volume bak kontrol (m ³) L = Panjang bak kontrol (m) W = Lebar bak kontrol (m) H = Kedalaman bak kontrol
<u>Menghitung kecepatan air pada bak kontrol</u>	
$v = \frac{Q}{W \times H}$	Keterangan : v = Kecepatan bak kontrol (m/s) Q = Debit air limbah (m ³ /s) W = Lebar bak kontrol (m) H = Kedalaman bak kontrol
<u>Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol</u>	
H bak kontrol = h air + freeboard Freeboard = %freeboard x h air	Keterangan : H bak kontrol total = h air + freeboard H air = tinggi air pada Barscreen (m) Freeboard = ruang kosong luapan
Menghitung dimensi bar screen Sumber perhitungan : (Qasim, 1985) Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 164)	
<u>Panjang Bar Screen (Sisi miring)</u>	
$\sin \theta = \frac{H_{bak kontrol total}}{x}$ $x = \frac{H_{bak kontrol total}}{\sin \theta}$	Keterangan : H bak kontrol/total = kedalaman bak kontrol yang direncanakan (m) x = sisi miring Bar Screen (m) y = jarak Bar Screen (m)

RUMUS PERENCANAAN BAR SCREEN	
Kedalaman bak kontrol  θ = derajat kemiringan Bar Screen (°)	
<u>Menentukan Jumlah Kisi dan Batang</u>	
$Ws = (n+1) \times r + (n \times d)$ Jumlah Batang = Jumlah Kisi (n) - 1	Keterangan : Ws = Lebar Saluran (m) n = jumlah kisi (buah) r = jarak antar kisi (m) d = lebar kisi/bar (m)
<u>Menentukan Lebar Bukaannya Screen (Wc)</u>	
$Wc = Ws - (n \times d)$	Keterangan : Wc = lebar bukaan kisi (m) Ws = Lebar bak kontrol (m) n = jumlah kisi (buah) d = lebar kisi/bar (m)
<u>Kecepatan yang melalui bar screen</u>	
$vi = \frac{Q}{Wc \times hair}$	
<u>Kecepatan aliran saat pembersihan</u>	
$vc = \frac{Q}{\%sumbatan \times Wc \times h \text{ air}}$	Keterangan : vc = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s) Q = debit air limbah (m ³ /s) Vi = kecepatan yang lewat bar screen (m/s) Hair = kedalaman air (m)
<u>Headloss Barscreen</u>	
<u>Saat non Clogging</u> $Hf = \frac{1}{c} \times \left(\frac{vi^2 - v^2}{2 \times g} \right)$, C merupakan koefisien pada saat tidak clogging yaitu 0,7 <u>Saat Clogging</u> $Hf = \frac{1}{c} \times \left(\frac{vi^2 - v^2}{2 \times g} \right)$, Cc merupakan koefisien pada saat clogging yaitu 0,6	Keterangan : Hf = kehilangan tekanan pada bar screen (m) vc = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s) Q = debit air limbah (m ³ /s) vi = kecepatan yang lewat bar screen (m/s)

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 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.

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. 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 Grease Trap

Penyisihan minyak dan lemak dengan menggunakan grease trap dilakukan di awal proses pengolahan untuk mencegah gangguan terhadap unit pengolahan selanjutnya. Biasanya, grease trap terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk mengendapkan padatan, seperti lumpur tinja, yang memiliki berat jenis lebih rendah dari air, sementara padatan dengan berat jenis lebih rendah dari air, seperti minyak dan lemak, akan mengapung di permukaan air. Kompartemen kedua bertujuan untuk memastikan minyak dan lemak tetap terperangkap di dalam sistem dan tidak ikut mengalir bersama air limbah ke unit pengolahan berikutnya.

Penting untuk secara berkala membersihkan minyak dan lemak yang terperangkap ini untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah penyumbatan. Beberapa penelitian mencatat bahwa grease trap mampu menghilangkan hingga 80% minyak dan lemak (EPA, 1998) serta 50-80% BOD dan TSS (DPH, 1998) (Dirjen Cipta karya, 2013).

Kriteria perencanaan desain untuk unit grease trap adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Kriteria Perencanaan Grease Trap

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan aliran	2 – 6	m/jam
Waktu tinggal	5 – 20	menit

Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2017. Halaman 25

Rumus yang digunakan untuk menghitung Grease Trap pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Rumus Perhitungan Grease Trap

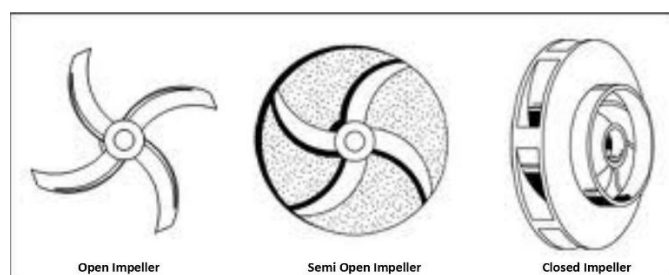
RUMUS PERENCANAAN GREASE TRAP	
Volume	
$V = Q \times t_d$	Keterangan : T _d = waktu detensi Q = debit air limbah (m ³ /detik)
Luas Area	
$A = \frac{Q}{v}$	Keterangan : Q = debit air limbah (m ³ /detik) V = Volume (m ³)
Panjang Kompartemen 1 dan 2	
Panjang Kompartemen 1 = 2/3P Panjang Kompartemen 2 = 1/3P A = P x L	
Cek kecepatan aliran	
$V = \frac{Q_{influent}}{Luas\ Permukaan}$	
Dimensi pipa	
$A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$	
Headloss	
Jari – Jari Hidrolis $R = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$	Keterangan: R = Jari Jari Hidrolis (m) H = ketinggian air (m) B = lebar saluran pembawa (m)
Slope	
$S = \left(\frac{n \times v}{(R)^{2/3}} \right)$ Keterangan: S = kemiringan saluran/slope (m/m) n = koefisien manning bahan penyusun saluran pembawa v = kecepatan aliran dalam saluran pembawa R = jari jari hidrolis (m)	

2.3.5 Netralisasi

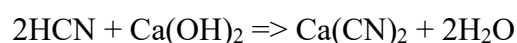
Limbah cair industri biasanya bersifat asam dan basa sehingga memerlukan penetralan karena dapat mengganggu proses pengolahan berikutnya. Penetralan asam dan basa dilakukan dengan mempertahankan pH pada range 6 dan 9 untuk memastikan aktivitas biologis yang optimal. Pada proses biologis secara alami memungkinkan akan terjadi netralisasi akibat adanya produk CO₂ dari pembakaran asam oleh buffer. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000).

Bak Netralisasi digunakan untuk mencampurkan basa dengan air limbah (asam), agar mencapai pH netral yang dikehendaki. Proses netralisasi menggunakan 2 bak yaitu bak netralisasi dan bak pembubuh. Pada kedua bak terjadi pengadukan untuk mencampur atau menghomogenkan larutan. Proses pengadukan menggunakan prinsip mixing dengan aliran turbulen. Pada bak dilengkapi peralatan mekanis yaitu motor penggerak, dengan kriteria kecepatan pengadukan sebagai berikut (Reynolds & Richards, 1996) :

- Paddle dengan putaran 2 – 150 rpm
- Turbine dengan putaran 10 – 150 rpm
- Propeller dengan putaran 150 – 15000 rpm



Gambar 2. 8 Jenis Impeller



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida ((Ca(OH)₂). Ion sianida merupakan ion yang sangat reaktif, bila berikatan dengan logam akan membentuk garam kompleks yang stabil. Garam

sianida dan larutan sianida memiliki toksisitas yang lebih rendah dibanding hidrogen sianida. Hal ini disebabkan karena garam sianida dan larutan sianida dapat masuk ke dalam tubuh hanya melalui ingesti. Kompleks sianida yang stabil jika tidak melepaskan sianida bebas tidak akan bersifat toksik (Jeklin, 2016).

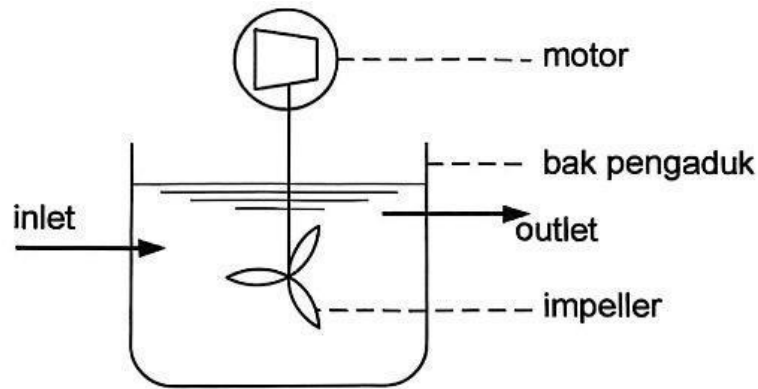
2.3.6 Koagulasi

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).

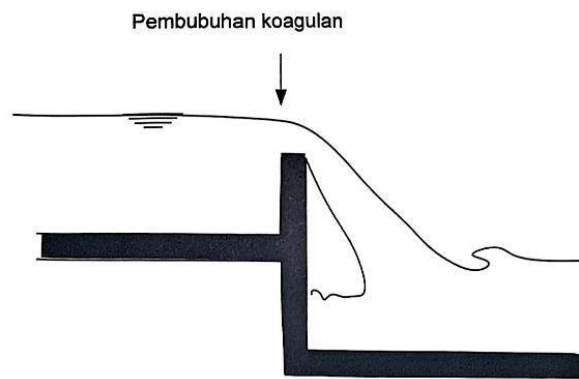
Proses destabilisasi terjadi salah satunya akibat dari pengadukan cepat, pengadukan cepat bertujuan agar menghasilkan turbulensi pada air sehingga bahan kimia (koagulan) dapat didispersikan ke dalam air. Secara umum pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan yang besar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

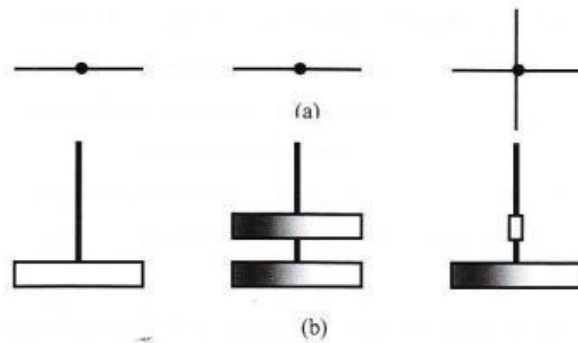


Gambar 2. 9 Pengadukan Mekanis



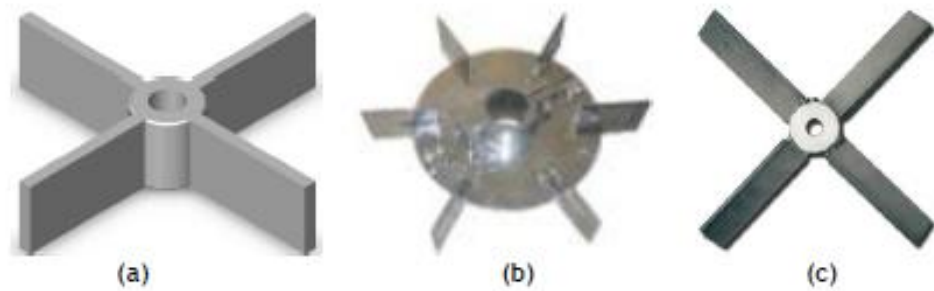
Gambar 2. 10 Pengadukan Hidraulis

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. 11 Paddle (Tampak Atas, dan samping)

Sumber : (Masduqi & Assomadi, 2012 hal 112)



Gambar 2. 12 Tipe Paddle



Gambar 2. 13 Tipe Propeller

Sumber : (Qasim, et.al, 2000)

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 Alumunium 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 menguraikan larutan yang keruh dan menggumpalkan partikel, sehingga memungkinkan untuk memisah dari medium larutannya. Keuntungan penggunaan PAC sebagai koagulan 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.

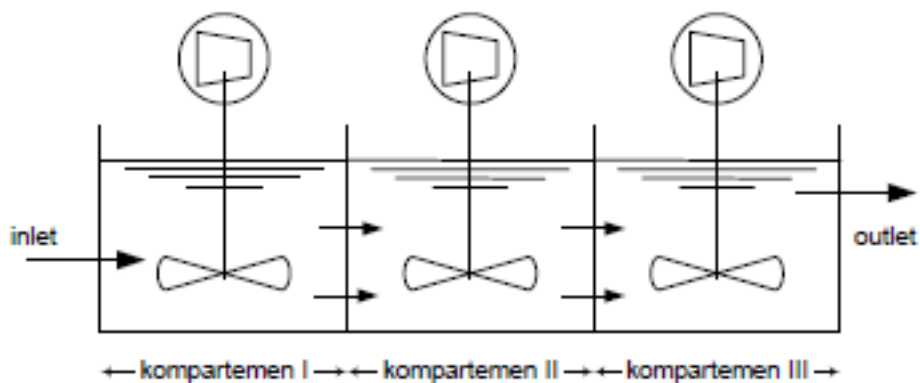
2. *Alumunimum Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)*

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.

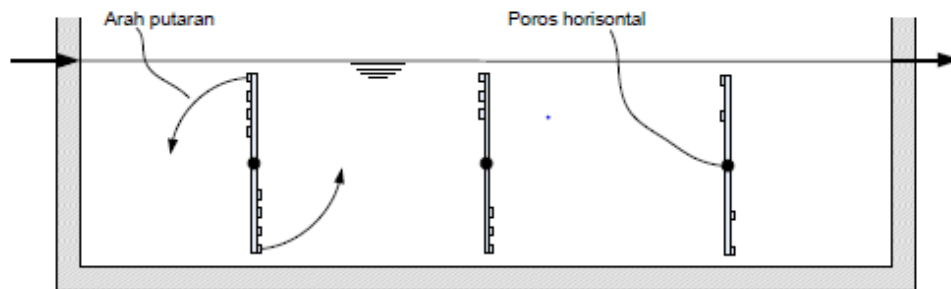
2.3.7 Flokulasi

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. 14 Pengadukan Lambat Secara Mekanis



Gambar 2. 15 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.

2.3.8 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 :

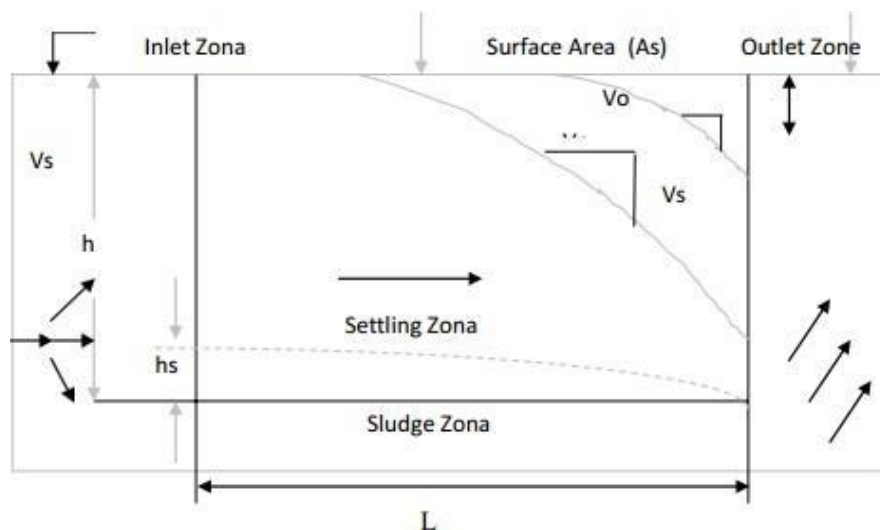
- A. Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- B. Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- C. Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa 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. 16 Bak Sedimentasi Circular Center Feed

(Sumber : Al Layla. Water Supply Engineering Desain)

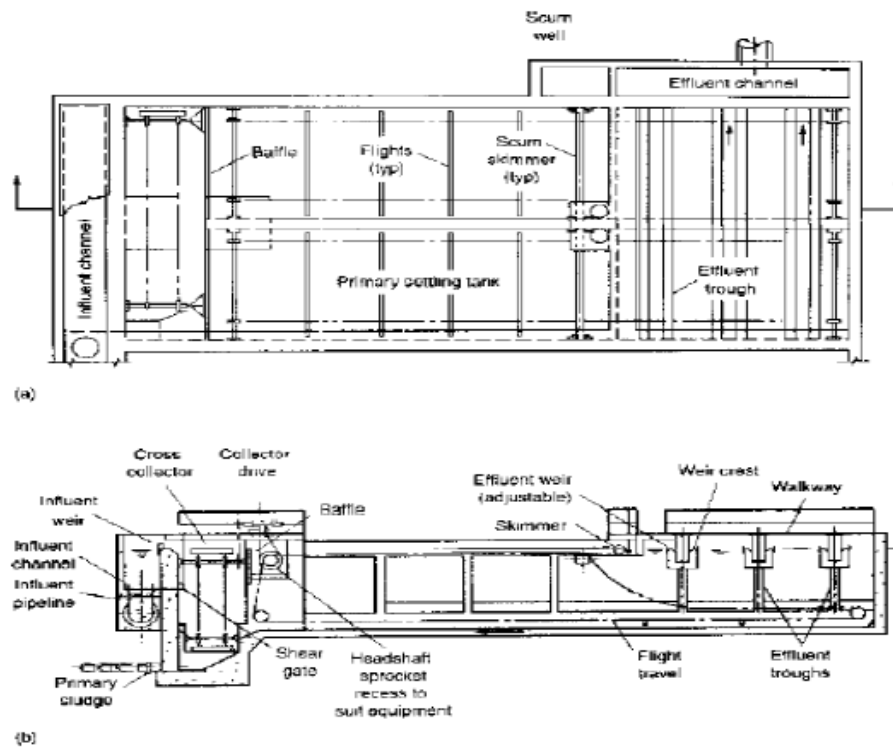
Dimana pada setiap zona terjadi proses – proses sebagai berikut:

- 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 pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

- Zona Outlet

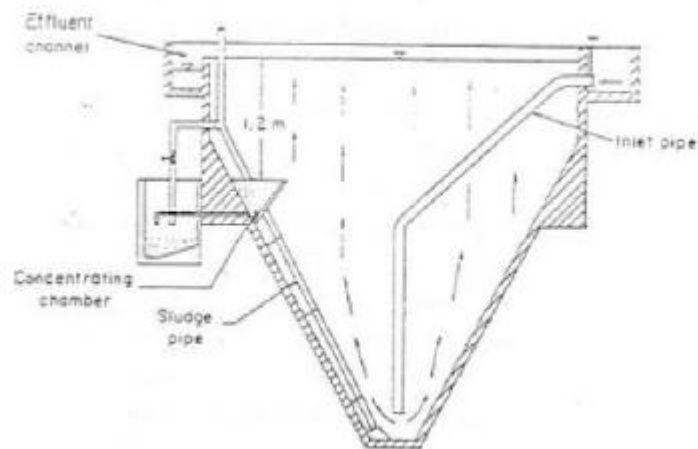
Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.



Gambar 2. 17 Denah dan Potongan Sedimentasi Rectangular

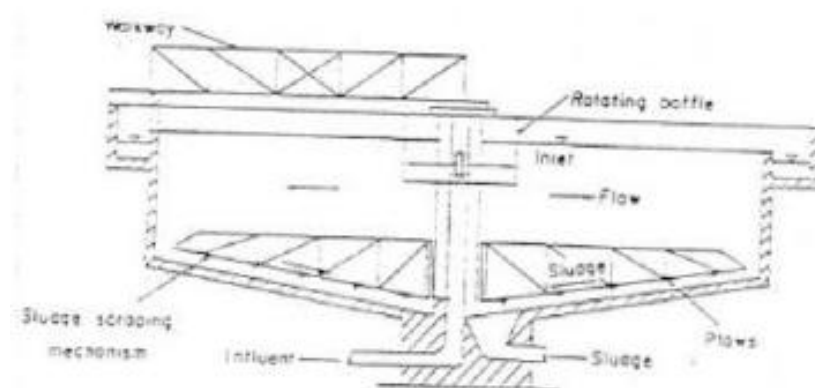
(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

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. 18 Bak Sedimentasi Circular Center Feed

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



Gambar 2. 19 Bak Sedimentasi Circular Peripheral Feed

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).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: surface loading rate (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 26 (Metcalf & Eddy et al., 2007). Adapun kriteria perencanaan untuk bangunan bak pengendap awal adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Kriteria Perencanaan Bak Sedimentasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman air minimal	H	3 – 4,9	m	(Metcalf & Eddy et al.,2007) Hal 398
2	Diameter	D	3 – 60	m	
3	Slope Dasar	Slope	1/16 – 1/6	mm/m diameter	
4	Flight Speed	-	0,02 – 0,05	m/menit	
5	Waktu Tinggal	Td	3 – 5	Jam	
6	Overflow Rate Rata – rata puncak	-	30 – 50 80 – 120	m ³ /m ² .hari	
7	Weir Loading	-	125-500	m ³ /m ² .hari	
8	Diameter Inlet Wall	D	15 – 20	% (Diameter Bak)	(Metcalf & Eddy et al.,2007) Hal 401
9	Kecepatan Aliran Menuju Inlet Well	V	0,3 – 0,75	m/s	
10	Konsentrasi Solid	-	4 – 12	%	(Metcalf & Eddy et al.,2007)

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
					Hal 398
11	Suhu	T	30	°C	(Metcalf & Eddy et al.,2007)
12	Viskositas Kinematis	V	$0,8 \times 10^6$	m ² /s	
13	Viskositas Absolut	μ	$0,798 \times 10^{-3}$	m ² /s	
14	Massa Jenis Air (T = 30°C)	pair	0,99568	g/cm ³	Hal 1742
15	Bilangan Reynold	Nre	<1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Hal 224
16	Spesific Gravity Solid (Si)	Si	1,4	-	(Metcalf & Eddy et al.,2007) Hal 1456
17	Spesific Gravity Sludge (Sg)	Sg	1,02	-	
18	Nre untuk Vh	Nre	<2000 (Laminer)	-	(Razif, 1985) Pengolahan Air Minum, Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Sipil ITS
19	Nfr		10 ⁵	-	
20	Koef. Kekasaran Aksesoris Pipa	K	Elbow = 1,1, Tee Lurus = 0,35, Tee Cabang = 1 Gate Valve = 0,2	-	(M.Noerba mbang & Morimura, 2005) Halaman 76

2.3.9 Activated Sludge

Lumpur aktif (activated sludge) adalah proses pertumbuhan mikroba tersuspensi yang pertama kali dilakukan di Inggris pada awal abad 19. Sejak itu proses ini diadopsi seluruh dunia sebagai pengolah air limbah domestik sekunder secara biologi. Proses ini pada dasarnya merupakan pengolahan aerobik yang mengoksidasi material organik menjadi CO₂ dan H₂O, NH₄. dan sel biomassa

baru. Udara disalurkan melalui pompa blower (diffused) atau melalui aerasi mekanik. Sel mikroba membentuk flok yang akan mengendap di tangki penjernihan.

Pengolahan air limbah pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode biologi. Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah metode yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung di dalam air limbah. Mikroorganisme sendiri selain menguraikan dan menghilangkan kandungan material, juga menjadikan material yang terurai tadi sebagai tempat berkembang biaknya. Metode pengolahan lumpur aktif (activated sludge) adalah 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. Diharapkan pemanfaatan sistem daur ulang air limbah akan dapat mengatasi permasalahan persediaan cadangan air tanah demi kelangsungan kegiatan industri dan kebutuhan masyarakat akan air.

Air tersebut dapat dipergunakan kembali sebagai sumber air untuk kegiatan industri selanjutnya. Air daur ulang yang kami kerjakan dapat dimanfaatkan dengan aman untuk kebutuhan konsumsi air seperti cooling tower, boiler laundry, toilet flusher, penyiraman tanaman, general cleaning, fish pond car wash dan kebutuhan air yang lainnya.

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) Non Konvensional

a. Step Aerasi

- 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 dititik yang paling awal. Keuntungannya mempunyai waktu detensi yang lebih pendek

b. Tapered Aerasi

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

c. Contact Stabilisasi

Pada sistem ini terdapat 2 tangki yaitu :

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

d. Pure Oxygen

Oksigen murni diinjeksikan ke tangki aerasi dan diresirkulasi. Keuntungannya adalah mempunyai perbandingan substrat dan mikroorganisme serta volumetric loading tinggi dan td pendek.

e. High Rate Aeration

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

f. Extended Aeration

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

g. Oxidation Ditch

Bentuk oksidation ditch adalah oval dengan aerasi secara mekanis, kecepatan aliran 0,25 - 0,35 m/s. 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 :

- Makro Nutrient

Sumber makro nutrient yang sering ditambahkan antara lain adalah N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, dan Cl. Unsur nitrogen dan phospor yang digunakan biasanya diperoleh dari urea dan TSP dengan perbandingan 5:1 (Metcalf & Eddy, 2004).

- Mikro Nutrient

Sumber mikro nutrient yang penting antara lain adalah Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, dan Ni . Penggunaan mikronutrient adalah 1-100 µg/L (Robert H. Perry, 1997). Karena jika terlalu banyak justru merupakan racun bagi mikroorganisme. Penambahan mikronutrient Cu lebih dari 1 mg/L mengakibatkan efisiensi penurunan TOC menjadi menurun (Y.P. Ting, *H. Imai and S. Kinoshita, 1994).

- 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.

- Temperature

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, Mark J, 1931).

Adapun parameter penting untuk desain Activated Sludge adalah :

a. F/M Ratio

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 Resirkulasi

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 reaktor (C_0)

d. Waktu detensi (td)

Td adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi

e. Volume Bak Aerasi (V)

Berikut adalah kriteria perencanaan yang digunakan dalam merancang bangunan ini adalah sebagai berikut :

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 1. Umur Lumpur | = 5 – 15 hari |
| 2. Rasio F/M | = 0,2 – 0,4 kg BOD/Kg MLSS.hari |
| 3. Volumetric Loading | = 0,6 – 1 kg BOD/m ³ /hari |
| 4. MLSS (X) | = 2000 – 3500 mg/L |

(Sumber: (Metcalf & Eddy, 1979) Metcalf, & Eddy. (1979). Reuse, Wastewater Engineering: Treatment Disposal. McGraw-Hill. Halaman 484 – 485)

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 5. Waktu Detensi (HRT) | = 3 – 5 Jam |
| 6. Rasio Resirkulasi | = 0,25 – 0,75 |
| 7. Nilai Koefisien | = |
| - Rata-rata penggunaan substrat | = 2 – 10/hari |
| - Konsentrasi substrat | = 25 – 100 mg/L. BOD |
| - Koefisien Endogeneous (Ke) | = 0,025 – 0,7075/hari |
| - Yield Coefficient (Y) | = 0,4 – 0,8 mgMLVSS/mg BOD |

- Suhu correction Coefficient (θ) = 1,03 – 1,09
- 8. Kedalaman bak (H) = 3 – 4,5 m
- 9. MLVSS (X_v) = 60 – 75% MLSS

(Sumber: (Reynolds & Richards, 1996) Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company. Halaman 450 – 459)

- 10. Suhu air buangan = 26°C

Sehingga

- Kinematic Viscosity (ν) = $8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Absolute Viscosity (μ) = $8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s./m}^2$
- Massa Jenis (ρ) = $0,99681 \text{ g/cm}^3$
= $996,81 \text{ kg/m}^3$

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

- 11. Freeboard (Fb) = 10 – 20%
- 12. Safety Factor = 2
- 13. Return Sludge Ratio = 0,7 – 1,2
- 14. SS in Return Sludge = 8000-12000 mg/L

(Sumber: (Von Sperling, 2007) Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. In Water Intelligence Online (Vol. 6, Issue 0). Halaman 36)

- 15. VSS/SS ratio = 0,7-0,85

Sumber: (Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 21)

- 16. Ketinggian bak aerasi (H) = 3 - 5,6 m

Sumber : (Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, hal 687)

- 17. Biodegradable fraction of VSS = 0,55 - 0,77 (fb)
- 18. Effluent soluble BOD = 5 - 20 mg/L

Sumber: (Marcos Von Sperling, Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor, hal 69)

2.3.10 Clarifier

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.

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). Pada tahap ini, air yang telah melewati pengolahan pada pengolahan sebelumnya akan mengalami proses tahap selanjutnya yang merupakan pengendapan lanjut sehingga menurunkan padatan tersuspensi. Air yang tertampung di secondary clarifier ini sudah memenuhi baku mutu air limbah sehingga dapat dibuang langsung ke saluran air kotor atau diolah dan dimanfaatkan. Air yang telah diolah dan ditampung di secondary clarifier dapat dimanfaatkan lebih lanjut misal untuk menyiram tanaman, dll.

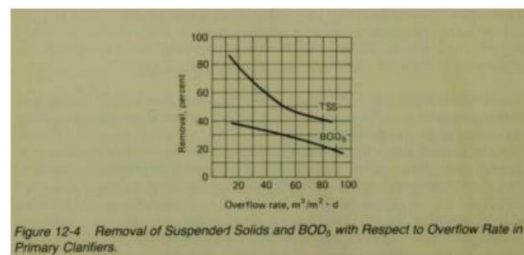
Pada secondary clarifier ini tergantung pada kedalaman tangki, bedanya dengan preliminary clarifier yang tergantung pada kecepatan pengendapan. Namun masalahnya pada secondary clarifier adalah waktu detensi (waktu proses pengendapan), jika terlalu lama dikhawatirkan flok yang sudah terbentuk akan pecah lagi.

Berikut ini adalah kriteria perencanaan dari unit clarifier :

Zona Pengendapan (Settling Zone)

1. Over Flow Rate (OFR)

- Average $= 30 - 50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
- Peak $= 70 - 130 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$



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

2. Waktu tinggal (Td) $= 0,6 - 3,6 \text{ jam}$

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

3. Dimensi

- Rectangular

Panjang (L) $= 10 - 100 \text{ m}$

Lebar (W) $= 3 - 24 \text{ m}$

Kedalaman (H) $= 2,5 - 5 \text{ m}$

P : L $= 1 - 7,5 : 1$

P : H $= 4,2 - 25 : 1$

- Circular

Diameter (D) $= 3 - 60 \text{ m}$

Kedalaman (H) $= 3 - 6 \text{ m}$

- (Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)
4. Fight Speed $= 0,02 - 0,05$ m/menit
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 398)
 5. %Removal TSS $= 50 - 70\%$
(Sumber: (Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12)
 6. Weir Loading rate $= 125 - 500$ m³/m².hari
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)
 7. Diameter inlet well $= 15\% - 20\%$ diameter bak
 8. Ketinggian inlet well $= 0,5 - 0,7$ m
 9. Kecepatan inlet well $= 0,3 - 0,75$ m/s
(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 401)
 10. Nre untuk Vs $= <1$ (Laminer)
 11. NRe untuk Vh $= <2000$ (Laminer)
 12. Bilangan Freud (NFr) $= >10^{-5}$ (mencegah aliran pendek)
(Sumber: SNI 6774 – 2008 Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air)
 13. Specific Gravity Suspended Solid $= 1,3 - 1,5$
(Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition. In Chemical engineering (Issue 4). McGraw - Hill Companies, Inc. Halaman 411)
 14. Slope ke arah zona sludge
 - Rectangular $= 1\% - 2\%$
 - Circular $= 40 - 100$ m/m
 (Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 274)
 15. Konsentrasi Solid $= 4\% - 12\%$

16. Cek N_{Re} partikel $= < 0,5$
17. Syarat terjadinya pengendapan $= T_p < T_d$
18. Syarat terjadinya penggerusan $= V_{sc} > V_h$
19. Suhu air buangan 26°C , sehingga :
 - Kinematic Viscosity $= 8,744 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Absolute Viscosity (μ) $= 8,746 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$
 - Massa jenis $= 996,81 \text{ kg/m}^3$

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

20. Koef Manning (n) $= 0,012 - 0,016$

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

21. Kontrol Penggerusan
 - Faktor sisi porositas $= 0,05$
 - Faktor fraksi hidrolis $= 0,03$

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

Zona Lumpur (Sludge Zone)

1. Volatile Solid $= 60\% - 90\%$
2. Dry Solid $= 3\% - 8\%$

(Sumber: (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 428)

3. Spesific Gravity Suspended Solid $= 1,3 - 1,5$

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

4. Massa Jenis (ρ) $= 996,81 \text{ kg/m}^3$

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

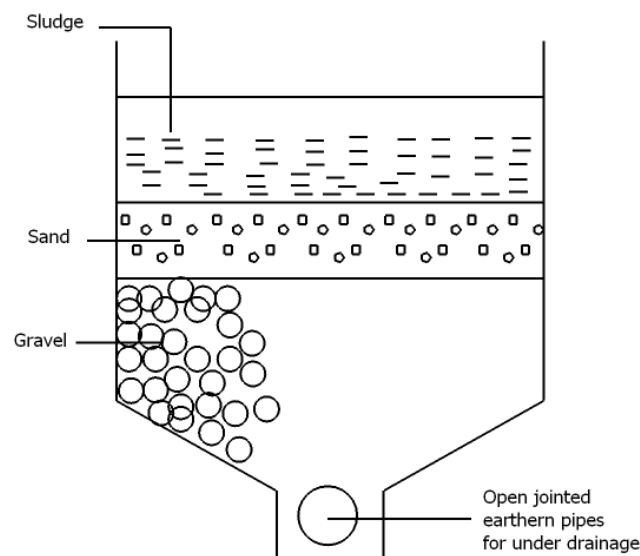
2.3.11 Sludge Drying Bed

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena (Metcalf & Eddy et al., 2007) :

1. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel untuk menimbulkan bau.
2. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
3. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun unit pengolahan lumpur diantaranya adalah sludge drying bed. Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.

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. 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 et al., 2007).



Gambar 2. 20 Sludge Drying Bed

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.

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).

Kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

1. Waktu Pengeringan = 5 – 15 hari
2. Tebal Sludge Cake = 20 -30 cm
3. Tebal Pasir = 23 – 30 cm
4. Lebar (W) = 2,5 – 6 m
5. Panjang (L) = 6 – 30 m
6. Slope = 1%
7. Kecepatan Aliran = >0,75 m/s
8. Berat Air dalam Cake (Pi) = 60% - 70%
9. Kadar Air (P) = 60% - 80%
10. Kadar Solid = 20% - 40%
11. Sludge Loading Rate = 120 – 150 kg/solid kering/m².tahun

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

12. W : L = 1 : 4

(Sumber : SNI 7510 – 2011)

2.4 Persen Removal

Pada unit bangunan pengolah air limbah terdapat parameter yang akan diproses di dalamnya. Setiap bangunan mengolah parameter yang berbeda sehingga memiliki Removal yang berbeda. Persen Removal berarti besar persentase penghilangan dan / atau pembersihan dan / atau penghapusan nilai atau jumlah parameter dalam satuan persen (%). Besar persen Removal unit pengolahan air limbah industri tepung tapioka dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2. 10 Referensi Persen Removal Tiap Unit

Unit Pengolahan	%Removal	Sumber
1. Pre Treatment		
Screening	-	-
Bak Penampung	-	-
Bak Netralisasi	pH 6,5 – 9,0	(Reynold & Richards, 1996) Unit Operations & Processes in Environment Engineering, Page 161
2. Primary Treatment		
Grease Trap	90 – 99% Minyak dan Lemak	Sakinah, D.S, Purwanti, I.F.; 2018; Perencanaan IPAL Pengolahan Cair Industri Pangan Skala Rumah Tangga; Jurnal Teknik ITS; 1;D12-D17
Koagulasi	-	-
Flokulasi	-	-
Bak Sedimentasi	25 – 40% BOD, COD	Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse 4th, 2003, Halaman 396
	50 – 70% TSS	(Huisman, 1977) Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration. Delft University of Technology. Halaman 12
3. Secondary Treatment		
Activated Sludge	85 – 95% BOD, COD	(Cavaseno, 1987) Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. McGraw- Hill, Inc. Halaman 14, dan 15
	95% - 99% Phenol	
Clarifier	85 – 95% TSS	Ronald L Droste_Ronald L. Gehr – Theory and practice of water and wastewater treatment hal 315.

2.5 Profil Hidrolis

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

1. Kehilangan Tekanan pada bangunan pengolahan

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

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

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut:

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan mengekuivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekuivalen sekaligus S .
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan

yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara bangunan kedua dengan 60 bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua.