

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri Rokok

Parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran organik pada air limbah dan air permukaan pada umumnya adalah BOD lima (5) hari (BOD₅). Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses oksidasi biokimia pada bahan organik. (Metcalf & Eddy, 2003).

Pada umumnya, Hasil analisa BOD digunakan untuk :

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

Oleh karena itu, kemungkinan bahwa pengujian BOD₅ akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan-batasannya. (Metcalf & Eddy, 2003)

Kandungan BOD₅ yang ada di industri rokok adalah 3400 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, BOD₅ yang diperbolehkan adalah 150mg/L.

2.1.1 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 Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, tingkat keasaman yang diperbolehkan berada pada rentang antara 6-9.

2.1.2 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 dengandikromat. (Metcalf & Eddy, 2003).

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

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

2.1.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi (Pescod, 1973). Biological Oxygen Demand (BOD) sebagai salah satu parameter kimia yang berfungsi untuk mengetahui kualitas perairan. Analisa BOD pada perairan dapat meminimalisir jumlah toksik apabila nilainya telah diketahui dan dilakukan pengolahan secara biologis. (Daroini & Arisandi, 2020)

Faktor-faktor yang mempengaruhi BOD adalah jumlah senyawa organik yang diuraikan, tersedianya mikroorganisme aerob, dan tersedianya jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses penguraian tersebut. Oksidasi biokimia adalah proses yang lambat. Dalam waktu 20 hari, oksidasi bahan organik karbon mencapai 95–99% dan dalam waktu 5 hari sekitar 60–70% bahan organik telah terdekomposisi (Metcalf & Eddy, 1991).

2.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

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

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

Kandungan TSS yang ada di industri rokok adalah 500 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 6 Tahun 2010 tentang Industri Rokok dan/atau Cerutu, TSS yang diperbolehkan adalah 100 mg/L.

2.1.5 Minyak dan Lemak

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

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

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

Minyak dan lemak pada umumnya hadir pada limbah industri dalam bentuk minyak secara umum (yang pada umumnya mengapung di atas air), minyak dalam bentuk emulsi, dan minyak yang tercampur dengan padatan tertentu. Untuk minyak secara umum dapat dipisahkan secara gravitasi, hal

itu disebabkan karena *specific gravity* (sg) minyak berada pada nilai yang lebih kecil dari 1. Minyak hasil olahan petroleum dapat dipisahkan dari limbah dengan *skimmer* yang digerakkan pada bagian atas bak sedimentasi, termasuk minyak dari proses *refinery*, pabrik *petrochemical*, manufaktur logam dan *laundry*. (Terrence P. Driscoll *and Friends*, 2008)

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

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

1. Minyak bebas, merupakan minyak yang hadir dalam air namun tidak tercampur akibat perbedaan *specific gravity* (s) yang terjadi di antaranya. Dapat dipisahkan secara gravitasi.

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

2.1.6 Phenol

Pada proses pewarnaan dan pembilasan rokok dapat menghasilkan air limbah yang berwarna. Zat warna yang dapat digunakan antara lain phenol dan logam. (Clifton Potter, M.Soeparwadi, Aulia Gani, 1994). Kandungan Phenol air buangan Industri Rokok ini adalah 50, sedangkan baku mutu yang mengatur besar kandungan phenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 5. Phenol merupakan padatan tidak berwarna, dan bersifat higroskopis. Phenol merupakan racun protoplasma dan bersifat rokok terhadap segala jenis sel, kadar phenol yang tinggi akan mengendapkan protein tanpa koagulasi.

2.1.7 $\text{NH}_3\text{-N}$ (Ammonia Total)

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

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

2.2 Bangunan Pengolah Air Buangan

2.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah menuju pengolahan selanjutnya. Di dalam perencanaan saluran pembawa, perlu diperhatikan elevasi dari daerah perencanaan. Jika elevasi pada daerah perencanaan datar, maka perlu ditambahkan slope atau kemiringan pada saluran pembawa. Saluran pembawa harus mampu menampung debit maksimal yang dihasilkan oleh effluent limbah dan tidak timbul endapan saat debit minimum. Untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan maka dibuat bak kontrol setiap 10 m.

Saluran pembawa terdiri dari saluran terbuka dan tertutup (pipa). Pada saluran terbuka biasanya terbuat dari cor beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran seperti pada Gambar 2 . 1 . Karena terbuka sehingga terdapat kontak dengan udara langsung. Saluran terbuka memerlukan tempat yang luas dan biasanya digunakan untuk drainase air hujan atau limbah yang tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 1 Saluran Terbuka

Sedangkan saluran tertutup (Gambar 2 . 2) digunakan untuk air limbah atau air kotor yang membahayakan kesehatan dan mengganggu keindahan. Air Limbah yang melalui saluran tertutup tidak dipengaruhi oleh udara luar atau kontak langsung dengan udara. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).



Gambar 2. 2 Saluran Tertutup

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang saluran pembawa.

1. Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. *Freeboard* = 5% - 30%
- b. Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

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

- c. Koefisien Kekasaran Pipa = 0,002 – 0,012 (Pipa Plastik Halus). Sesuai dengan **Tabel 2.1** berikut ini

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Pipa

No.	Jenis Saluran	Koefisien Kekasaran Manning (n)
1	Pipa Besi Tanpa Lapisan	0,012 - 0,015
	Dengan Lapisan Semen	0,012 - 0,013
	Pipa Berlapis Gelas	0,011 - 0,017
2	Pipa Asbestos Semen	0,010 - 0,015
3	Saluran Pasangan Batu Bata	0,012 - 0,017
4	Pipa Beton	0,012 - 0,016
5	Pipa Baja Spiral dan Pipa Kelingan	0,013 - 0,017
6	Pipa Plastik Halus (PVC)	0,002 - 0,012
7	Pipa Tanah Liat (<i>Vitrified Clay</i>)	0,011 - 0,015

(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)

2. Rumus yang digunakan

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa :

a. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan :

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/s)

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

b. Diameter Pipa (D)

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

Keterangan :

A = luas permukaan (m²)

D = diameter pipa (m)

π = *phi* dengan besar 3,14

c. Jari – Jari Hidrolis (R)

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

R = jari – jari hidrolis (m)

D = diameter pipa (m)

π = *phi* dengan besar 3,14

d. *Headloss* saluran pembawa

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

Keterangan :

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

n = koefisien kekasaran manning

R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

e. *Slope* pipa

$$S = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan :

S = kemiringan pipa (m/m)

H_f = kehilangan tekanan pipa (m)

L = panjang pipa (m)

2.2.2 *Screening*

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*) seperti

Gambar 2 . 3, drum putar (*rotary drum*) seperti **Gambar 2 . 4** dan anak tangga (*step type*) sesuai **Gambar 2. 5** (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 3 Ayakan Kawat (*Static Wedge Wire*)



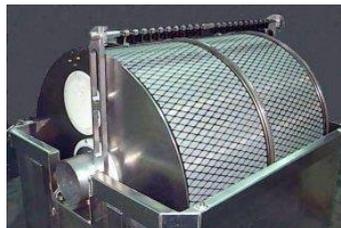
Gambar 2. 4 Drum Putar (*Rotary Drum*)



Gambar 2. 5 Anak Tangga (*Step Type*)

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* (Saringan Kasar)

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)

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang *Screening*.

1. Kriteria Perencanaan

Pada perancangan ini digunakan *Coarse Screen* atau saringan kasar yang diletakkan pada ujung saluran pembawa yang berupa pipa di bak kontrol. Adapun kriteria perencanan dapat dilihat pada **Tabel 2.2** di bawah ini:

Tabel 2. 2 Kriteria Perencanaan Screen

Parameter	U.S Customary Unit			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
Ukuran Batang						

Lebar	In	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	5,0 - 15	5,0 - 15
Kedalaman	In	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar batang	In	1,5 - 2,0	0,3 - 0,6	mm	25 - 30	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 - 45	0,3	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,25	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimum	Ft/s		1,0 - 1,6	m/s		
Headloss	In	6	Jun-24	m	150	150 - 600

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

- Koef saat *non clogging* (c) = 0.7
- Koef saat *clogging* (Cc) = 0.6

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) *WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 320*)

- *Headloss* (Hf) = 150 mm – 800 mm

(Sumber : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158*)

2. Rumus yang digunakan

a. Menghitung Bak Kontrol

1) Menghitung Volume Bak

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

$$V = Q \times T$$

Keterangan :

Q = debit air limbah (m³/s)

T = waktu detensi (s)

V = volume bak kontrol (m³)

2) Menghitung Dimensi Bak

$$V = L \times W \times H$$

Keterangan :

V = volume bak kontrol (m³)

L = panjang bak kontrol (m)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

3) Menghitung kecepatan air pada bak kontrol

$$v = \frac{Q}{W \times H}$$

Keterangan :

v = kecepatan kontrol (m²/s)

Q = debit air limbah (m³/s)

W = lebar bak kontrol (m)

H = kedalaman bak kontrol (m)

4) Menentukan h air dari kedalaman bak kontrol

$$H_{bak kontrol/total} = h air + freeboard$$

$$freeboard = \%freeboard \times h air$$

Keterangan :

$H_{bak kontrol/total}$ = kedalaman bak kontrol yang direncanakan (m)

h_{air} = tinggi air yang melalui *Bar Screen*

freeboard = ruang kosong untukantisipasi luapan

b. Menghitung Dimensi *Bar Screen*

Sumber Perhitungan : **(Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 164)**

1) Menghitung panjang *Bar Screen*

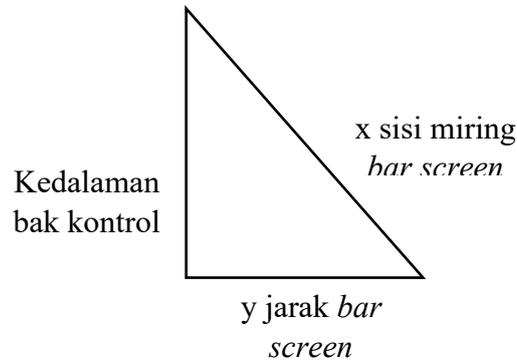
Panjang *Bar Screen* (sisi miring)

$$\text{Sin}\theta = \frac{H_{bak kontrol/total}}{x}$$

$$x = \frac{H_{bak kontrol/total}}{\text{Sin}\theta}$$

Lebar *Bar Screen* / Jarak *Bar Screen*

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \frac{y}{x} \\ y &= x \times \cos\theta \end{aligned}$$



Keterangan :

- $H_{\text{bak kontrol/total}}$ = kedalaman bak kontrol yang direncanakan (m)
- x = sisi miring *bar screen* (m)
- y = Jarak *bar screen* (m)
- θ = derajat kemiringan *bar screen* ($^{\circ}$)

2) Menentukan jumlah kisi dan batang

$$\begin{aligned} W_s &= n \times d + (n + 1) \times r \\ \text{Jumlah batang} &= \text{Jumlah kisi } (n) - 1 \end{aligned}$$

Keterangan :

- W_s = lebar bak kontrol (m)
- n = jumlah kisi (kisi / buah)
- d = lebar antar kisi (m)
- r = jarak bukaan (m)

3) Menentukan lebar bukaan kisi

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

Keterangan :

- W_c = lebar bukaan kisi (m)
- W_s = lebar bak kontrol (m)
- n = jumlah kisi (kisi / buah)
- d = lebar antar kisi (m)

c. Kecepatan

- 1) Kecepatan yang melalui *Bar Screen*

$$v_i = \frac{Q}{(Wc \times hair)}$$

- 2) Kecepatan aliran saat pembersihan

$$v_c = \frac{Q}{\%sumbatan \times Wc \times hair}$$

Keterangan :

v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

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

v_i = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

$h\ air$ = kedalaman air (m)

- d. *Headloss* pada *Bar Screen*

- 1) *Headloss* saat non *clogging*

$$H_f = \frac{1}{c} \frac{v_i^2 - v^2}{2g}$$

- 2) *Headloss* saat *clogging* pembersihan

$$H_f = \frac{1}{cc} \frac{v_c^2 - v_i^2}{2g}$$

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 321)

Keterangan :

H_f = kehilangan tekanan pada *Bar Screen* (m)

v_i = kecepatan yang lewat *Bar Screen* (m/s)

v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)

v = kecepatan awal aliran air (m/s)

c = koef saat non *clogging*

cc = koef saat *clogging*

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.2.3 Bak Penampung

Bak penampung digunakan sebagai unit penyeimbang agar debit dan kualitas limbah yang akan menuju ke unit selanjutnya harus dalam keadaan konstan. Bak penampung sebagai penampungan sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah limbah lainnya.

Bak penampung dimanfaatkan apabila terdapat perbaikan unit atau pembersihan unit yang mengharuskan proses pengolahan limbah dihentikan. Gambar bak penampung berbentuk persegi panjang dapat dilihat pada Gambar 2 . 8.



Gambar 2. 8 Bak Penampung Air Limbah

Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bak penampung.

1. Kriteria Perencanaan

a. *Freeboard* = 5% - 30%

b. Waktu Detensi = >2 jam

(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 344)

c. Kedalaman = $\leq 4\text{m}$

2. Rumus yang digunakan

a. Volume bak penampung

$$V = Q \times Td$$

V = volume bak penampung (m^3)

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

Td = waktu detensi (s)

b. Dimensi bak penampung

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

$$V = L \times W \times H$$

$$L = 2 \times W$$

Keterangan :

H = kedalaman bak Kontrol (m)

Fb = $20\% \times H$

V = volume bak penampung (m^3)

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

c. Luas bak penampung

$A = L \times W$

A = luas bak penampung (m²)

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

2.2.4 Netralisasi

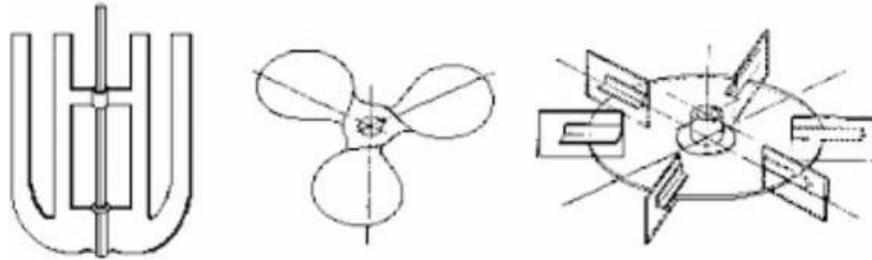
Proses netralisasi bertujuan untuk melakukan perubahan derajat keasaman (pH) air limbah atau air buangan industri. Air buangan industri dapat bersifat asam atau basa/alkali, maka sebelum diteruskan ke badan air penerima atau ke unit pengolahan secara biologis dapat optimal. Pada sistem biologis ini perlu diusahakan supaya pH berbeda di antara nilai 6,5 – 8,5. Sebenarnya pada proses biologis tersebut kemungkinan akan terjadi netralisasi sendiri dan adanya suatu kapasitas bufer yang terjadi karena ada produk CO₂ dan bereaksi dengan kaustik dan bahan asam. Karena kurang efektif maka dilakukan proses netralisasi (Eckenfelder & Jr., 2000). Terdapat beberapa cara menetralkan kelebihan asam dan basa dalam limbah cair, seperti (Reynolds & Richards, 1996):

- 1) Pencampuran limbah asam dengan basa dengan komposisi yang sesuai
- 2) Melewatkan limbah asam melalui tumpukan batu kapur
- 3) Penambahan NaOH, Na₂CO₃, atau NH₄OH ke limbah asam
- 4) Penambahan asam kuat (H₂SO₄, HCl) ke dalam limbah basa
- 5) Pembangkitan CO₂ dalam limbah basa

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):

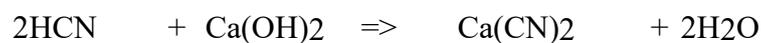
1. *Paddle* dengan putaran 2 – 150 rpm

2. *Turbine* dengan putaran 10 – 150 rpm
3. *Propeller* dengan putaran 150 – 15000 rpm



Gambar 2. 9 a) *Paddle Impeller* b) *Propeller Impeller* c) *Turbine Impeller*

Pada limbah cair tepung tapioka terdapat kandungan sianida dalam bentuk HCN yang berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Alternatif pengolahan sianida dalam air limbah salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode Netralisasi. Adanya HCN pada air limbah membuat air menjadi asam, sehingga perlu penambahan basa untuk penetralan pH dan pengolahan sianida. Pada jurnal digunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dengan reaksi sebagai berikut (Jeklin, 2016).



Penurunan HCN terjadi karena reaksi antara hidrogen sianida (HCN) dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). 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). Dalam melakukan perencanaan unit netralisasi diperlukan kriteria perencanaan yang dapat digunakan sebagai acuan ketika melakukan perencanaan, berikut merupakan kriteria perencanaan dari unit netralisasi:

- Waktu detensi (Td) = 20 – 60 detik (bak netralisasi)
- Gradien kecepatan (G) = 700 – 1000 /detik
- Diameter *Paddle* (Di) = 30 – 80 % dari Diameter bak
- Lebar *Paddle* (Wi) = 1/6 – 1/10 Diameter paddle
- Kecepatan putaran *Paddle* (n) = 20 – 150 rpm
- Kedalaman bak (H) = 1-1.25 D/W

- *Reynold number* (RNe) = >10000
- Kecepatan pipa *Outlet* (v) = 1 – 1.25 m/s
- Jenis *Impeller* = *Flat paddles, 2 blades (single paddle)*
- Koefisien Turbulen (KT) = 2.25

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

- pH= 6 – 9
- Konsentrasi Ca(OH)₂ = 20%

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

2.2.5 Grease Trap

Penyisihan minyak dan lemak menggunakan *grease trap* dilakukan di awal sistem pengolahan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya, *grease trap* terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama berfungsi untuk menyisihkan berbagai jenis padatan dalam lumpur tinja, yaitu padatan dengan berat jenis lebih rendah dari air yang akan mengendap, sedangkan padatan dengan berat jenis lebih ringan dari air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air. Selanjutnya pada kompartemen kedua berfungsi untuk memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut terbawa air limbah mengalir menuju unit pengolahan selanjutnya. Minyak dan lemak yang tertahan tersebut harus dibersihkan secara berkala untuk menjaga kebersihan unit dan mencegah terjadinya penyumbatan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa *grease trap* mampu menyisihkan hingga 99% minyak dan lemak (Maharani, 2017) dan 50-80% BOD dan TSS (DPH, 1998) (Dirjen Cipta karya, 2013).

2.2.6 Koagulasi-Flokulasi

A. Koagulasi

Koagulasi biasa didefinisikan sebagai suatu proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan juga virus dengan suatu koagulan,

sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel dibawah ini dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

Tabel 2. 3 Jenis-jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ $x = 14,16,18$	Bongkah, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium Aluminate	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3-n-m}$	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric Sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal Halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, Cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal Halus	Asam	>8,5

(Sumber: Sugiarto, 2006)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan

koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu:

1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

2. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

3. Dosis Koagulan

Dosis koagulan terhadap air yang mempunyai kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflokk yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

4. Pengadukan (*Mixing*)

Pengadukan atau *Mixing* diperlukan supaya terjadi tumbukan antar partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflokk. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

5. Pengaruh Garam

Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion

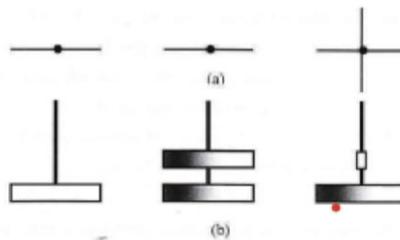
dibanding dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatic. 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* (balok-balok) masing-masing memiliki kriteria impeller yang berbeda.

Tabel 2. 4 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Ket
Paddle	20 – 150 rpm	Diameter 50 – 80% lebar bak Lebar 1/6 – 1/10 diameter paddle	
Turbine	10 – 150 rpm	Diameter 30 – 50% lebar bak	
Propeller	400 – 1750 rpm	Diameter maks. 45 cm	Jumlah pitch 1 – 2 buah

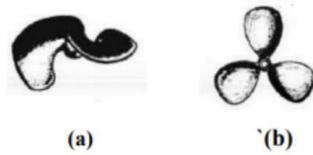
(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:185)



Gambar 2. 10 Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping
(Sumber: Maduqi & Assomadi, 2012)



Gambar 2. 11 Tipe Turbin
(Sumber: Qasim et al., 2000)



Gambar 2. 12 Tipe Propeller (a) 2 Blade (b) 3 Blade
(Sumber: Qasim et al., 2000)

Adapun beberapa faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Nilai waktu pengadukan mekanis dan gradient kecepatan dapat dilihat dalam **Tabel 2.6** di bawah ini:

Tabel 2. 5 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis Dan Gradient Kecepatan

Waktu pengadukan, td (detik)	Gradient Kecepatan (detik ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
≥ 50	700

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:184)

Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan harus memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T .

Tabel 2. 6 Konstanta K_L dan K_T Untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12

Jenis Impeller	KL	KT
Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_i/W_i=4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i=6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i=8$	71,0	3,82

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996,188)

B. Flokulasi

Flokulasi adalah sebuah proses dengan mengadakan kontak antara partikel koloid yang mengalami destabilisasi pada proses koagulasi sebelumnya sehingga ukuran partikel bisa bertambah lebih besar (Faryandi, 2020). Dalam proses flokulasi terjadi penyatuan flok yang terbentuk dari proses koagulasi menjadi lebih besar. Proses flokulasi terjadi pengadukan lambat sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. (Lolo et al., 2020).

Fungsi dari proses flokulasi sendiri yakni sebagai pengoptimalan laju kontak antara partikel yang terdestabilisasi (Utaminingrum, 2018). Pada proses flokulasi sendiri menggunakan flokulan. Flokulan yakni bahan kimia yang berguna untuk membentuk flok menjadi besar dan stabil (Setiyono, 2014).

Berdasarkan Critenden 2012, flokulasi dibedakan menjadi dua (Utaminingrum, 2018):

- a. Mikroflokulasi Terjadi ketika partikel teragregasi karena termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut Brownian Motion. Mikroflokulasi terjadi pada partikel yang kecil (kurang dari $0,1 \mu\text{m}$).
- b. Makroflokulasi Terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien kecepatan sehingga menyebabkan tabrakan antara partikel tersuspensi.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 s^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GT_d (bilangan *camp*) berkisar 48.000 hingga 210.000 . Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah

terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi yaitu:

1. Air sungai
 - Waktu detensi = minimum 20 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
2. Air waduk
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 75 \text{ s}^{-1}$
3. Air keruh
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Menggunakan koagulan garam besi
 - G tidak lebih dari 50 s^{-1}
5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 - G kompartemen 1: nilai terbesar
 - G kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3: nilai terkecil
6. Penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ s}^{-1}$
7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
 - Waktu detensi = 15 - 30 menit
 - $G = 20 - \text{s}^{-1}$ - $GTd = 10.000 - 100.000$

(Masduqi & Assomadi, 2012: 110)

2.2.7 Bak Pengendap/Sedimentasi

Bak pengendap/sedimentasi 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 (Masduqi & Assomadi, 2012). Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisihkan 50-70% dari suspended solid tanpa bantuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan

kimia dan 25- 40% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi I dipengaruhi oleh:

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

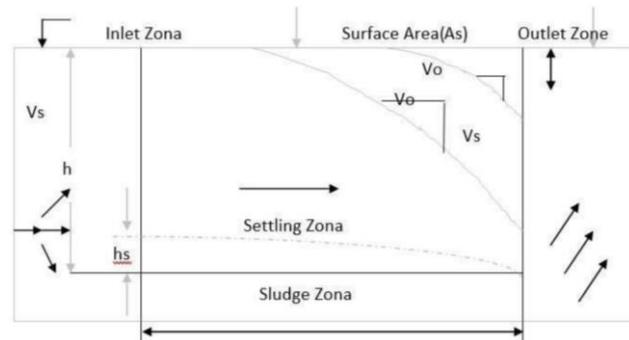
Sedimentasi adalah unit operasi yang didesain untuk mengumpulkan dan memindahkan padatan tersuspensi dari air limbah dengan cara gravitasi. Sedimentasi berguna untuk memisahkan pasir, partikel yang besar, dalam kolam pengendapan utama, biological flok pada kolam pengendapan lumpur aktif, dan menghilangkan flok kimiawi ketika proses koagulasi senyawa kimia digunakan. Ini juga digunakan untuk mengumpulkan padatan yang ada di *thickening*. Di banyak kasus, tujuan utama adalah untuk menghasilkan effluen yang jernih, tetapi ini juga penting untuk menghasilkan lumpur dengan konsentrasi padatan yang dapat mempermudah penanganan dan pengolahan. Sementara itu, Bak pengendap II berfungsi untuk mengendapkan zat padat yang terdapat dalam air buangan setelah melalui pengolahan biologis. Bak pengendap ini dilengkapi dengan pengeruk lumpur mekanis. Lumpur yang terkumpul dipompakan ke unit pengolahan lumpur (Asmadi, 2012).

Desain bak pengendap ada beberapa jenis yaitu:

- 1) Bentuk persegi (*Rectangular*) Distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003): a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan, b. Saluran inlet dengan port dan orifice, c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles.
- 2) Bentuk lingkaran (*Circular*) Pada tangki circular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur lingkaran 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 agar

proses pengendapan dapat berjalan dengan efektif (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Adapun zona – zona tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 13 Zona-zona Bak Sedimentasi
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Pada setiap zona terjadi proses sebagai berikut:

1. Zona Inlet, terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)
2. Zona *Settling*, terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
3. 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.
4. Zona Outlet, pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

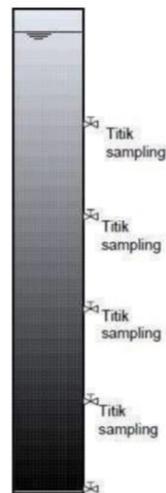
Unit sedimentasi memiliki pengaplikasian utama pada instalasi pengolahan air. Pengaplikasian utama tersebut meliputi:

- 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.

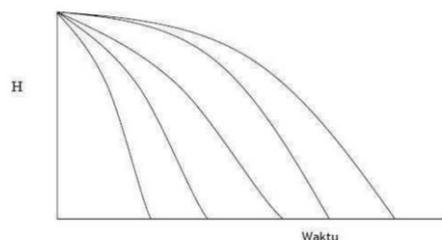
Pada proses pengendapan yang terjadi di dalam bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan oleh konsentrasi dari partikel dan kemampuan partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu antara lain:

- a) Pengendapan tipe I (*free settling*)
- b) Pengendapan tipe II (*flocculent settling*)
- c) Pengendapan tipe III (*zone/hindered settling*)
- d) Pengendapan tipe IV (*compression settling*)

Kecepatan pengendapan partikel tidak dapat ditentukan dengan persamaan *Stoke's* karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap diuji dengan *column settling test* dengan *multiple withdraw ports*. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik.

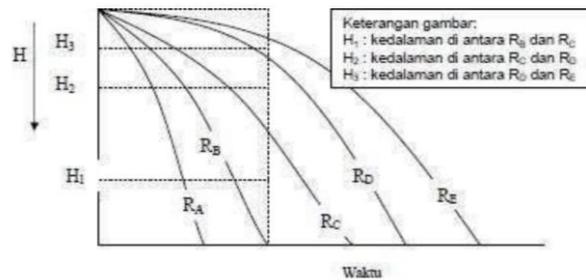


Gambar 2. 14 Kolom Test Sedimentasi Tipe II
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 15 Grafik Isoremoval
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Grafik isoremoval digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman H1, H2, H3.



Gambar 2. 16 Penentuan Kedalaman H
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D)$$

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan *surface loading* dan *overflow rate* bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah:

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu (mengulangi Langkah diatas minimal 2 kali).
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagian sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x).
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan *overflow rate* (sebagai sumbu x).

Kedua grafik ini digunakan untuk mennetukan waktu pengendapan atau waktu detensi (td) dan *overflow rate* (Vo) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara *batch*). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu

dikalikan dengan faktor *scale up*. Untuk waktu detensi, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk *overflow rate*, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynolds & Richards, 1982). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

a. *Horizontal-flow Sedimentation*

Desain pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% kekeruhan air. Bentuknya yang *rectangular* tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang *circular* biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik. Cara kerja dari bak sedimentasi berbentuk *rectangular* (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok akan masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona *settling* melalui *baffle*/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona *settling* partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Adapun keuntungan penggunaan jenis bak *horizontal-flow* dibandingkan dengan *up flow* adalah lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air:

- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim
- Biaya konstruksi murah
- Operasional dan perawatannya mudah Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah (Q), waktu detensi, luas permukaan dan kecepatan pengendapan.

b. *Upflow Sedimentation*

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil. Semakin besar angka BOD

menunjukkan bahwa derajat pengotoran air semakin besar (Sugiharto, 2008). Pengotoran air mengandung bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau.

Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan *organic*, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan. Dengan berkurangnya bahan organik terlarut akan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut sehingga nilai BOD akan menurun. Menurut Metcalf & Eddy (2003), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80%. Efisiensi pengendapan partikel flokulan dipengaruhi oleh *overflow rate*, *detention time* dan kedalaman bak pengendap. Pengaruh dari faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

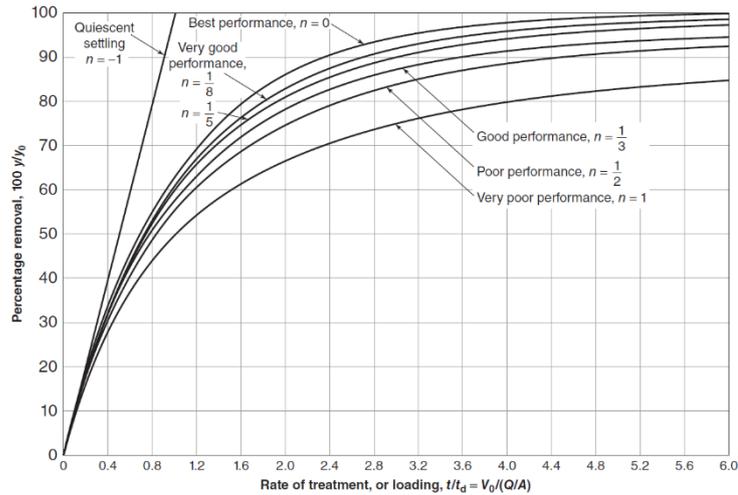
- *Detention time* (t)
- *Over flow rate*

Dalam bangunan sedimentasi ini terdapat kriteria desain yang dapat digunakan dalam mempermudah desain. Adapun kriteria desain tersebut adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air = 3 – 4,5 m
- Kecepatan aliran = 0,3 – 1,7 m/min
- Waktu detensi = 1,5 – 4 Jam
- *Surface loading* = 1,25 – 2,5 m/jam
- Panjang/lebar = minimum $\frac{1}{4}$
- Kedalaman air/panjang = minimum $\frac{1}{15}$

- Weir loading rate = 9 – 13 m³ /m.jam

Bak sedimentasi dapat berupa *circular*, *rectangular* atau *square* dengan kedalaman 2-5 m. Dimana *rectangular* mempunyai panjang sampai 50 m dan lebar 10 m sedangkan *square tank* mempunyai panjang ± 2,5 m. Slope ruang lumpur berkisar antara 2% - 6%, bilangan Reynolds < 2000 agar aliran laminar.



Gambar 2. 17 Grafik Kecepatan Pengendapan Partikel pada Sedimentasi
(Grafik Shammam, 2016. Halaman 448)

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. 7 Kriteria Perencanaan Pengendap Awal

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	<i>Flight Speed</i>	-	0,02 – 0,05	m/menit	

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
5.	Waktu Tinggal	Td	3-5	jam	
6.	<i>Overflow Rate</i> Rata-rataPuncak	-	30-50 80-120	m ³ /m ² .hari	
7.	<i>Weir Loading</i>	-	125-500	m ³ /m ² .hari	
8.	Diameter <i>inlet well</i>	D	15-20	% (Diameter Bak)	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
9.	Kecepatan Aliran Menuju <i>inlet well</i>	V	0,3-0,75	m/s	Hal 401
10.	Konsentrasi Solid	-	4-12	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Halaman 398
11.	Suhu	T	30	°C	
12.	Viskositas Kinematis	V	0,8x10 ⁶	m ² /s	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
13.	Viskositas Absolut	μ	0,798x10 ⁻³	m ² /s	
14.	Massa Jenis Air (T=30°C)	ρair	0,99568	g/cm ³	Hal 1742
15.	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	<1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Hal 224

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
16.	<i>Spesific Gravity Solid (Si)</i>	Si	1,4	-	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 1456
17.	<i>Spesific Gravity Sludge (Sg)</i>	Sg	1,02	-	
18.	NRE untuk V _h	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 <i>Gate Valve</i> = 0,2	-	(M.Noerba mbang & Morimura, 2005) Halaman 76

Sumber: literatur tertera pada tabel

2.2.8 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. Nonkonvensional

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 tanki 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 fosfor 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.

- Temperatur

Pengaruh temperatur untuk pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri adalah terhadap proses kerja enzim yang berperan dalam sintesis bahan-bahan organik terlarut dalam limbah cair. Temperatur optimal dalam proses lumpur aktif untuk pertumbuhan bakteri adalah 32-36°C (Hammer, Mark J, 1931).

Adapun parameter penting untuk design 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 resirkular (R).

Merupakan perbandingan antara debit lumpur yang dikembalikan ke tangki aerasi terhadap debit air yang diolah. Harga R tergantung pada jenis activated sludge yang digunakan.

c. Konsentrasi BOD yang masuk ke tangki aerasi (C_0).

d. Waktu detensi (t_d).

t_d adalah lama waktu air limbah tinggal dalam tangki aerasi

e. Volume bak aerasi (V).

2.2.9 Bak Pengendap II (Clarifier)

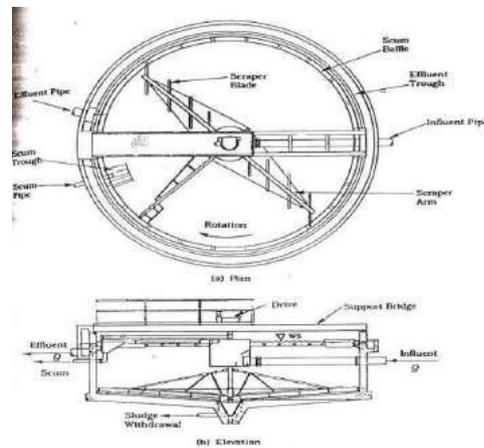
Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi lingkungan. Pengolahan ini merupakan pengolahan khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam 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.



Gambar 2. 18 Secondary Clarifier

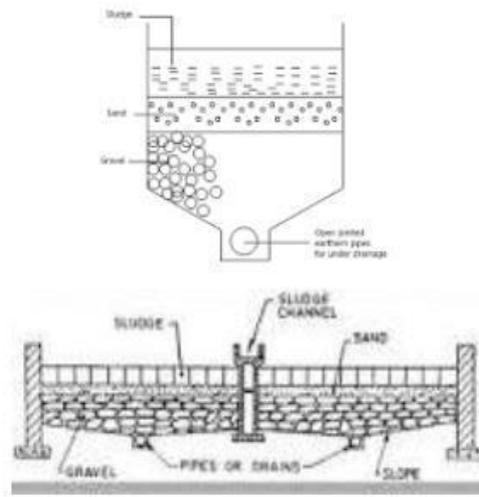
2.2.10 Sludge Drying Bed

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 bertanggung jawab 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. Adapun beberapa teknologi dalam pengolahan lumpur antara lain sebagai berikut:

a) Bak Pengering Lumpur (Sludge Drying Bed)

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. 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. 19 Sludge Drying Bed
(Sumber: Metcalf and Eddy, 2007)

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). Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1.	Tebal pasir	23-30	cm	
2.	Tebal kerikil	20-30	cm	
3.	Sludge loading rate	100-300	kg/m ² .tahun	
4.	Tebal bed	20-30	cm	

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
5.	Lebar bed	5-8	m	Qasim, 1985
6.	Panjang bed	6-30	m	
7.	Waktu pengeringan	10-15	hari	
8.	Uniformity coefficient	<4		
9.	Effective size 	0,3-0,75	mm	
10.	V air dalam inlet	0,75	m/detik	
11.	V air dalam drain	0,75	m/detik	
12.	Tebal lumpur	200-300	mm	
13.	Kecepatan Pipa Underdrain	0,75	m/detik	
14.	Diameter Pipa Underdrain	>100	Mm	
15.	Koef. Keceragaman	<4	-	
16.	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17.	Slope	>1	%	
18.	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

(Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018)

2.3 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 rokok dapat dilihat pada **Tabel 2.20**.

Gambar 2. 20 Persen Removal

Unit Pengolahan	%Removal	Sumber
1. Pre Treatment		
<i>Screening</i>	-	-
Bak Penampung	-	-
Bak Netralisasi	pH 6.5 – 9.0	(Reynolds & Richards, 1996) <i>Unit Operations & Processes in EnvironmentEngineering</i> , page 161
2. Primary Treatment		
Grease Trap	90-99% Minyak dan Lemak	Maharani, V. S. (2017). Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri. Repository Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1–196.
Koagulasi Flokulasi	-	-
Bak Pengendap I	25-40% BOD	Metcalf and Eddy, <i>Waste Water Engineering Treatment and Reuse</i> 4th , 2003, Halaman 396
	50%-70% TSS	(Huisman, 1977) <i>Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration</i> . Delft University of Technology. Halaman 12
3. Secondary Treatment		
<i>Activated Sludge (Step Aeration System)</i>	80% - 99% BOD	(Cavaseno, 1987) <i>Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering</i> . McGraw-Hill, Inc. Halaman 15
	50% - 95% COD	

	60% - 85% TSS	
	33% - 99% Ammonia	
	95% - 99% Phenol	
<i>Clarifier</i>	30% -95% TSS	Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment and Reuse 4 th , 2003, Halaman 497

2.4 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 :

A. 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.

B. 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 diketahuimaka 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.

a. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

C. 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 bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada bangunan kedua.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum bangunan kedua demikian seterusnya hingga bangunan terakhir.