

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Industri Tekstil (Batik)**

Industri batik merupakan salah satu industri yang melakukan proses pemalaman (lilin), pencelupan (pewarnaan) dan perlorotan (pemanasan) pada kain sehingga didapatkan motif. Industri batik merupakan bagian dari budaya Indonesia. Oleh karena itu batik mendapatkan pengakuan dunia oleh UNESCO sebagai warisan budaya tak benda di tahun 2009. Bersamaan dengan perkembangan mode dan meningkatnya minat masyarakat terhadap batik membuat produksi batik kian meningkat pada industri skala kecil maupun skala besar.

Pada proses produksi batik terdapat dampak negatif yaitu limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair batik yang dibuang berasal dari proses pewarnaan, pencucian dan pelepasan malam. Limbah tersebut umumnya mengandung zat pencemar yang apabila tidak diolah akan berdampak pada manusia dan lingkungan sekitar karena lingkungan mempunyai kemampuan terbatas untuk mendegradasi zat tersebut.

Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus *kromofor* sebagai pembawa warna dan *auksokrom* sebagai pengikat warna. Dan dalam produksi pembuatan batik zat warna yang paling banyak digunakan adalah zat warna reaktif.

Dalam suatu industri batik, salah satu sarana dan prasarana yang dapat menunjang perkembangan industri tersebut yaitu instalasi pengolahan air limbah. Dalam instalasi pengolahan air limbah (*waste water treatment plant*) akan terjadi proses pengolahan limbah cair hasil produksi batik. Sistem pengolahan limbah cair industri batik umumnya terdiri dari pengolahan awal, pengolahan primer, pengolahan sekunder dan dilanjutkan dengan pengolahan

tersier apabila kualitas limbah yang dihasilkan masih melebihi nilai baku mutu yang telah ditentukan (Tjokrokusumo, 1998).

## **2.2 Karakteristik Limbah Cair di Kawasan Industri Tekstil (Batik)**

Air limbah industri tekstil (batik) merupakan salah satu limbah cair yang memiliki banyak permasalahan karena memiliki kandungan yang bermacam-macam dan terdiri dari bahan kimia yang sulit untuk diurai. Bahan kimia penyusun limbah cair industri tekstil (batik) didominasi oleh zat pewarna yang bersifat sintetis. Hal tersebut akan menyebabkan adanya pencemaran pada badan air apabila air limbah cair tersebut tidak diolah terlebih dahulu. Karakteristik air limbah dengan parameter COD, TSS, fenol dan krom yang relatif tinggi menurut Baku Mutu Air Limbah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 adalah sebagai berikut :

### **2.2.1 Derajat Keasaman (pH)**

Konsentrasi ion hidrogen adalah ukuran kualitas air maupun dari air limbah. adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987). Parameter pH dapat ditemukan karena limbah cair industri gula diproses dengan bahan campuran berupa kapur dan diatur derajat keasamannya menjadi basa agar waktu melalui pipa tidak mudah berkarat.

### **2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)**

*Chemical Oxygen Demand* merupakan jumlah bahan organik yang ada pada air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan atau larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi dari BOD *ultimate* meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang terjadi. Hal tersebut dapat terjadi

apabila banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya teroksidasi secara kimia. Zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel. Zat anorganik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD. Nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat (Metcalf & Eddy, 2004)

Kandungan COD pada air buangan industri tekstil (batik) adalah 3500 mg/L sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan COD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan atau badan air adalah sebesar 150 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014).

### **2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)**

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang sulit mengendap dalam air limbah seperti pasir, liat dan bahan organik yang berasal dari zat organik asam vulvat yang merupakan hasil penguraian dari jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Selain itu, padatan ini juga berasal dari mikroorganisme misalnya alga, virus, plankton dan lain-lain. Semua elemen tersebut umumnya dapat menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan Sebagian dari total solid yang tertahan pada filter dengan ukuran pori yang telah ditetapkan. Pengukuran dilakukan setelah dikeringkan pada suhu 105°C. Filter yang paling sering digunakan untuk penentuan TSS adalah filter Whatman fiber glass yang memiliki ukuran pori nominal sekitar 1,58 µm (Metcalf & Eddy, 2004)

Kandungan TSS pada air buangan industri tekstil (batik) adalah 600 mg/L, sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan TSS yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 50 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014).

#### **2.2.4 Fenol**

Fenol adalah bahan toksik yang bisa menghambat proses degradasi biologi oleh mikroba tertentu. Tetapi fenol dapat juga terdegradasi pada kondisi aerobik oleh bakteri metanogenesis. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 500 mg/L, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis (Metcalf & Eddy, 2004).

Fenol pada konsentrasi rendah akan digunakan oleh mikroba sebagai makanan dan terdegradasi dalam tubuh mikroba menjadi bahan-bahan yang tidak berbahaya seperti asam asetat, gas metana dan karbon dioksida (Thomas & Ward, 1989). Timbulnya gas tersebut dapat diketahui dari munculnya gelembung-gelembung gas pada permukaan reaktor yang digunakan dan bau asam yang ditimbulkan. Sedangkan fenol pada konsentrasi tinggi justru akan menjadi racun bagi mikroba yang dapat mematikan atau menghambat kemampuan mikroba untuk mendegradasi fenol (Ariyani, 2011).

Kandungan fenol pada air buangan industri tekstil (batik) adalah 100 mg/L, sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan fenol yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 0,5 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014)

#### **2.2.5 Krom**

Chrom memiliki berat atom 52, nomor atom 24, densitas 7,2 juga titik leleh  $1857 \pm 20^{\circ}\text{C}$ , dan titik didih  $2,672^{\circ}\text{C}$ . Chrom dapat berada dalam beberapa tingkat oksidasi, yaitu +2, +3, +6 (Nordberg et al., 2007). Kromium merupakan logam transisi yang penting, senyawanya berupa senyawa kompleks yang memiliki berbagai warna yang menarik, berkilau, titik lebur pada suhu yang tinggi serta tahan terhadap perubahan cuaca. Selain itu pelapisan logam dengan kromium menghasilkan paduan logam yang indah, keras, dan melindungi logam lain dari korosi. Sifat-sifat kromium inilah yang menyebabkan logam ini banyak digunakan dalam industri elektroplating, penyamakan kulit, cat, tekstil, fotografi, pigmen (zat warna), besi baja, dan industri kimia (Rahmawati, 2014).

Kandungan krom pada air buangan adalah 2 mg/L, sedangkan standar baku mutu yang mengatur besar kandungan krom yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 1 mg/L (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014).

### **2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan**

Bangunan pengolahan air buangan adalah unit yang dirancang untuk mengurangi beban pencemar yang terdapat pada air buangan atau limbah. Beban pencemar yang dimaksud adalah partikel-partikel berbahaya, BOD, COD, organisme patogen, komponen beracun dan bahan lainnya yang memiliki sifat beracun dan berpotensi menimbulkan penyakit pada manusia atau organisme lainnya. Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dengan baik agar dapat menurunkan beban pencemar secara efektif. Menurut (Sugiharto, 1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

#### **a. Pengolahan Pendahuluan (Pre Treatment)**

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk menyaring sampah-sampah terapung yang masuk bersama dengan air agar dapat mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Contohnya seperti, menyortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, dan memisahkan lemak. Selain itu pengolahan pendahuluan juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari unit operasinya ke bangunan pengolahan air limbah.

#### **b. Pengolahan Pertama (Primary Treatment)**

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.

#### **c. Pengolahan Kedua (Secondary Treatment)**

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini

dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobic. Pada pengolahan air buangan industri pengolahan minyak bumi menggunakan sistem aerobik yaitu activated sludge karena kandungan biologi pada air buangan industri pengolahan minyak sawit cukup banyak seperti BOD, COD karena persen removal activated sludge cukup besar untuk meremoval kandungan organik.

d. Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

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

e. Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

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: a. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsibel menimbulkan bau b. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik. c. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12% solid). Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah :

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

Adapun bangunan pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair di kawasan industri, antara lain:

### 2.3.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah unit yang berfungsi untuk mendistribusikan air limbah menuju unit pengolahan selanjutnya. Saluran pembawa memiliki 2 jenis yaitu saluran terbuka dan tertutup (pipa). Saluran terbuka biasanya terbuat dari beton dan memiliki bentuk persegi, trapesium maupun setengah lingkaran. Perencanaan saluran pembawa selalu memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Jenis-jenis saluran pembawa seperti pada gambar 2.1.

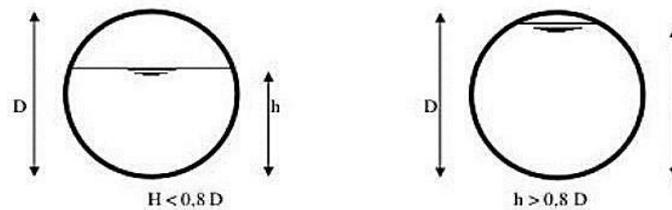


(a) (b)

Gambar 2. 1 (a) Saluran Tertutup (b) Saluran Terbuka

Saluran terbuka (*open channel flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Sedangkan, saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran

tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu didalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka.



Gambar 2. 2 Potongan Saluran Tertutup Pipa

Sumber: Pritchard 2011

#### 1. Kriteria Perencanaan

Adapun kriteria perencanaan 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 Perhitungan

Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk merencanakan saluran pembawa:

### a. Luas Permukaan (A)

A

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m<sup>2</sup>)

Q = debit limbah (m<sup>3</sup>/s)

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

### b. Diameter Pipa (D)

D

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

Keterangan:

A = luas permukaan saluran pembawa (m<sup>2</sup>)

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = phi dengan besar 3,14

### c. Jari – Jari Hidrolis (R)

R

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

Keterangan:

R = jari – jari hidrolis (m)

D = diameter pipa (m)

$\pi$  = 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)

### 2.3.2 Bar Screen

Unit pertama dalam pengolahan air limbah adalah *screening*. Penyaringan dilakukan 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).

Padatan kasar yang lolos dapat menyebabkan kerusakan alat pengolah limbah, mengurangi efektivitas pengolahan sehingga biaya pengolahan meningkat dan adanya kontaminasi pada aliran air. Secara umum *screen* dibedakan berdasarkan jenis saringannya yaitu saringan kasar dan halus. Biasanya pada saringan kasar menggunakan pembersihan secara manual, sedangkan untuk saringan halus menggunakan pembersihan mekanis (Said,2007). Berdasarkan jenis saringannya berikut adalah tipe-tipe *screening* (Metcalf & Eddy, 2003):

a. *Fine Screen* (Saringan Halus)

Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran bukaan 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, gigi, atau sikat. Pada *movable Screen* pembersihan dilakukan secara terus menerus selama pengoperasian (Qasim, 1985).

Berbagai jenis *microscreens* telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir yang digunakan untuk meningkatkan limbah dari instalasi pengolahan sekunder. 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 Wedgewire*)

Sumber : <https://www.ecplaza.net/products/wedge-wire-sieve-filters-solid-liquid-4594855>



Gambar 2.4 Drum Putar (*Rotary Drum*)

Sumber : <https://ekoton.com/product/rotary-drum-screen/>

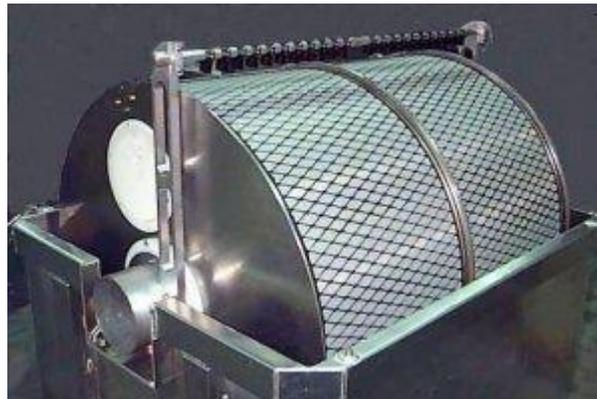


Gambar 2.5 Anak Tangga (*Step Type*)

Sumber: [https://ekoton.com/product/step\\_screen/](https://ekoton.com/product/step_screen/)

b. *Micro Screen*

Mircoscreens merupakan saringan yang berukuran kurang dari 0.5  $\mu\text{m}$  digunakan untuk zat atau material yang mengapung, alga, dan lainnya yang berukuran kecil. Bentuk MircoScreens dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Micro Screen

Sumber: <https://i0.wp.com/engineeringcivil.org/wp-content/uploads/2017/12/Microscreen-Sound-engineering.jpg?ssl=1>

c. *Coarse Screen* (Saringan Kasar)

*Coarse Screen* memiliki ukuran 6–150 mm digunakan untuk pelindung pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari penyumbatan dan kerusakan. *Coarse Screen* digunakan pada pengolahan pertama. Jenis bahan yang digunakan pada *Coarse Screen* adalah *Bar Racks* (*BarScreen*), anyaman kasar saringan, dan kominutor (Qasim, 1985). Pembersihan pada saringan kasar dapat dilakukan secara manual dan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industr kecil maupun sedang. Penyaringan dilakukan oleh baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran seperti **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Coarse Screen (Saringan Kasar)

Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/bar-rack-screen-8581460091.html>

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

#### 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 perencanaan dapat dilihat pada **Tabel 2.2** di bawah ini:

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan *Screen*

Parameter	U.S Customary Units			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 vertical	°	30 – 45	0 – 30	°	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		
<i>Headloss</i>	In	6	6 – 24	m	150	150 – 600

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

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 ( $m^3/s$ )

T = waktu detensi (s)

V = volume bak control ( $m^3$ )

2) Menghitung Dimensi Bak

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

Keterangan :

L = panjang bak control (m)

W = lebar bak control (m)

H = kedalaman bak control (m)

V = volume bak control ( $m^3$ )

3) Menghitung kecepatan air pada bak control

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

Keterangan:

V = kecepatan control ( $m^2/s$ )

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

W = lebar bak control (m)

H = kedalaman bak control (m)

4) Menentukan h air dari kedalaman bak control

$$H_{\text{bak control/total}} = h \text{ air} + \text{freeboard}$$

$$\text{Freeboard} = \% \text{freeboard} \times h \text{ air}$$

Keterangan :

$H_{\text{bak control/total}}$  = Kedalaman bak control yang direncanakan (m)

H air = tinggi air yang melalui *Bar Screen* (m)

*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)

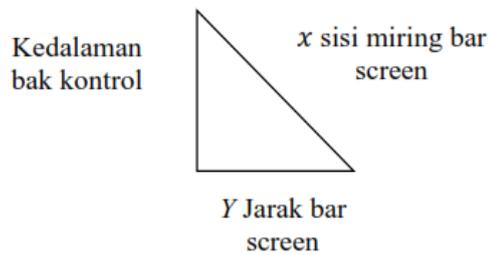
$$\sin \theta = \frac{H_{\text{bak control/total}}}{x}$$

$$X = \frac{H_{\text{bak control/total}}}{\sin \theta}$$

Lebar *Bar Screen* / jarak *Bar Screen*

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

$$y = x \times \cos \theta$$



Keterangan :

$H_{\text{bak control/total}}$  = kedalaman bak control yang direncanakan (m)

$x$  = sisi miring *Bar Screen* (m)

$y$  = jarak *Bar Screen* (m)

$\theta$  = derajat kemiringan *Bar Screen* ( $^{\circ}$ )

2. Menentukan jumlah kisi dan batang

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

Jumlah Batang = Jumlah Kisi (n) – 1

Keterangan :

$W_s$  = lebar bak control (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 control (m)

$n$  = jumlah kisi (kisi/buah)

$d$  = lebar antar kisi (m)

c. Kecepatan

1) Kecepatan yang melalui *Bar Screen*

$$V_i = \frac{Q}{(W_c \times h_{\text{air}})}$$

2) Kecepatan aliran saat pembersihan

$$V_c = \frac{Q}{(\%sumbatan \times W_c \times h \text{ air})}$$

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* saat *clogging* pembersihan

1) *Headloss* saat *non clogging*

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

2) *Headloss* saat *clogging* pembersihan

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

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 ( $m/s$ )

$C$  = koefisien saat *non clogging*

$C_c$  = Koefisien saat *clogging*

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

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

### 2.3.3 Bak Penampung

Bak penampung merupakan unit penyeimbang dimana debit dan kualitas limbah yang akan menuju unit selanjutnya harus sudah dalam kondisi konstan. Bak penampung akan menampung sementara air limbah pada periode waktu tertentu dan mengalirkan air dari bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Bak penampung dimanfaatkan ketika ada pembersihan atau perbaikan unit yang membutuhkan waktu lama atau mengharuskan proses

pengolahan limbah dihentikan, maka limbah dari industri dapat disimpan pada bak penampung. **Gambar 2.8** merupakan gambar bak penampung berbentuk persegi panjang.



Gambar 2.8 Bak Penampung Air Limbah

Sumber : (Sumber: <https://www.tanindo.net/ipal-instalasi-pengolahan-air-limbah/>)

Pada perancangan ini digunakan bak Penampung, adapun kriteria perencanan dan rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

### 1. Kriteria Perencanaan

- a. *Freeboard* = 5% - 30 %
- b. *Waktu Detensi* = > 2 jam
- c. *Kedalaman* = ≤ 4 meter

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

### 2. Rumus yang digunakan

- a. Volume bak penampung

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan :

$$V = \text{volume bak penampung (m}^3\text{)}$$

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

$$T_d = \text{waktu detensi (s)}$$

- a. Dimensi bak penampung

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

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

$$L = 2 \times W$$

Keterangan :

H = Kedalaman bak control (m)

Fb = 20% x H

V = volume bak penampung ( $m^3$ )

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

b. Luas bak penampung

A = L x W

Keterangan :

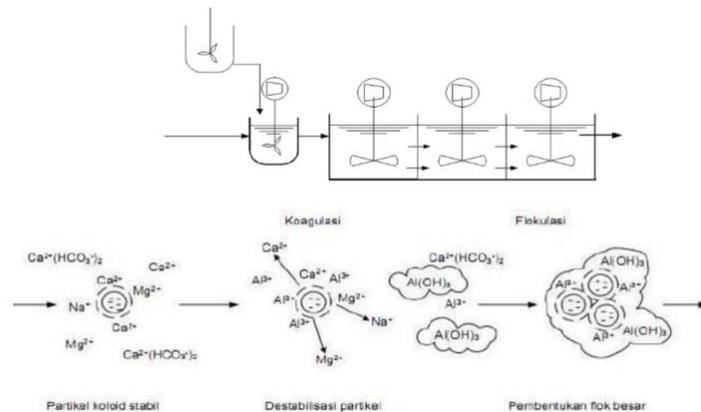
A = luas bak penampung ( $m^2$ )

L = panjang bak penampung (m)

W = lebar bak penampung (m)

#### **2.3.4 Koagulasi Flokulasi**

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berkelanjutan dengan bentuk pencampuran koagulan hingga proses pembentukan flok yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan. (Kawamura, 1991). Fungsi pengadukan sebagai upaya agar koagulan dapat bercampur maksimal dengan air baku. Terdapat dua sistem pengadukan yaitu, pengadukan cepat yang digunakan pada proses koagulasi dan pengadukan lambat yang digunakan pada saat proses flokulasi. Setelah inti flok terbentuk, proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.



Gambar 2.9 Gambaran proses Koagulasi-Flokulasi

Sumber : [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fimpas-itsb.blogspot.com%2F2021%2F08%2Fperan-metode-flokulasi-dan-koagulasi.html&psig=AOvVaw2dIV7xWM\\_cIKFbC\\_D6yjlO&ust=1670633403639000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjhXqFwoTCJCLn8ao6\\_sCFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fimpas-itsb.blogspot.com%2F2021%2F08%2Fperan-metode-flokulasi-dan-koagulasi.html&psig=AOvVaw2dIV7xWM_cIKFbC_D6yjlO&ust=1670633403639000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjhXqFwoTCJCLn8ao6_sCFQAAAAAdAAAAABAE)

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi diantaranya :

- 1) Destabilisasi partikel atau koloid
- 2) Tumbukan Van der waals
- 3) Gradien kecepatan
- 4) Waktu detensi (Td)

Pengadukan adalah unit yang penting pada pengolahan air limbah meliputi :

1. Pengadukan satu substansi dengan substansi lain
2. Mencampur cairan yang dapat dicampur
3. Flokulasi partikel air limbah
4. Melanjutkan pengadukan cairan tersuspensi
5. Transfer panas

Sebagian besar pengadukan pada pengolahan air limbah dapat dikelompokkan sebagai *Continuous-rapid* (kurang dari 30 detik) atau *continuous* (terus – menerus).

a. Continuous Rapid Mixing (pengadukan cepat)

Pengadukan cepat biasanya digunakan dimana satu substansi diaduk dengan yang lain. Prinsip dari pengadukan cepat ini adalah:

- ❖ Mencampur bahan kimia dengan air limbah (misal: penambahan alum, garam besi untuk di flokulasi dan pengendapan atau untuk menyebarkan klorin dan hypoklorin ke air buangan untuk desinfektan)
- ❖ Mencampur cairan yang dapat dicampur
- ❖ Penambahan bahan kimia untuk lumpur dan biosolid untuk memperbaiki karakteristik pengeringan.

b. Continuous Mixing (pengadukan Terus-Menerus)

Pengadukan terus-menerus digunakan dimana konten dari reactor atau Holding tank atau tangki harus terjaga suspensinya pada bak equalisasi, bak flokulasi, dan proses pengolahan pertumbuhan biologi, aerated lagoon, dan aerobic digester.

Koagulasi (rapid mix) berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia menjadi sama rata dalam bak dan memberikan hubungan yang cukup antara

koagulan dengan partikel suspended solid. Diharapkan effluent dari proses

koagulan dapat membentuk mikroflok. Tipe pengaduk yang digunakan ada 3 tahap antara lain :

- ❖ Pengaduk secara mekanik
- ❖ Pengaduk dengan hidrolis atau udara
- ❖ Pengaduk dengan pneumatic atau baffle

Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti proses flokulasi.

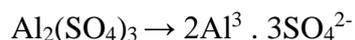
Fungsi dari proses koagulasi untuk memberikan koagulan (aluminium sulfat, garam besi, dan kalium hidroksida) pada air buangan. Sedangkan fungsi dari proses flokulasi adalah untuk membentuk flok-flok. Perbedaan proses flokulasi dan koagulasi pada kecepatan pengadukannya, proses koagulasi memerlukan yang relatif cepat dibanding proses flokulasi. Jenis-jenis koagulan yang sering digunakan adalah :

#### 1. Koagulan Aluminium Sulfat

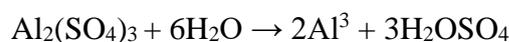
Aluminium sulfat dapat digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air buangan. Koagulan ini membutuhkan kehadiran alkalinitas dalam air untuk membentuk flok. Dalam reaksi koagulasi, flok alum dituliskan sebagai  $Al(OH)_3$ .

Mekanisme koagulasi ditentukan oleh pH, konsentrasi koagulan dan konsentrasi koloid. Koagulan dapat menurunkan pH dan alkalinitas karbonat. Rentang pH agar koagulasi dapat berjalan dengan baik antara 6-8. Didalam air koagulan alum akan mengalami proses disosiasi, hidrolisa dan polimerisasi.

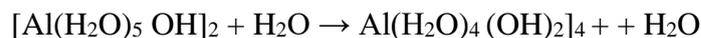
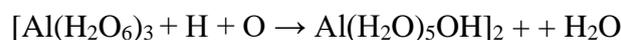
Reaksi Disosiasi



Reaksi Hidrolisa :



Reaksi polimerisasi ion kompleks :



#### 2. Koagulan Ferri Clorida

#### 3. Koagulan Chlorinated Copperas ( $Fe(SO_4)_3$ ), $FeCl_3$ , $7 H_2O$

#### 4. Koagulan Polu Aluminium Chloride (PAC)

Komponen-komponen pengaduk lambat atau mekanismenya diantaranya adalah :

➤ Impeller

- Motor
- Controller
- Reducer
- Sistem Transmisi
- Shaft
- Bearing

Jenis-jenis Flokulasi, yaitu :

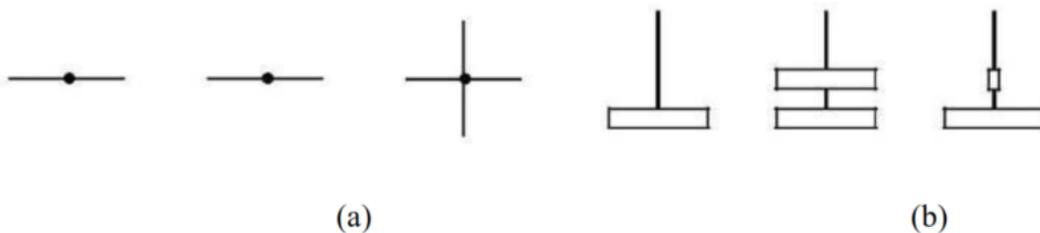
1. Flokulasi Mekanis
  - a. *Baffle Channel Flocculator*
  - b. *Gravel bed flocculator*
  - c. *Hidrolic jet flocculator*
3. Flokulasi Pneumatis

Pengolahan dengan proses koagulasi selalu diikuti dengan proses flokulasi. Pengolahan dengan cara ini diperlukan untuk mengolah limbah yang tingkat kekeruhannya cukup tinggi yang disebabkan oleh zat pencemar. Perbedaan proses koagulasi dengan flokulasi adalah pada kecepatan pengadukannya. Koagulasi diperlukan pengadukan yang relatif cepat, sedangkan flokulasi pengadukannya secara perlahan.

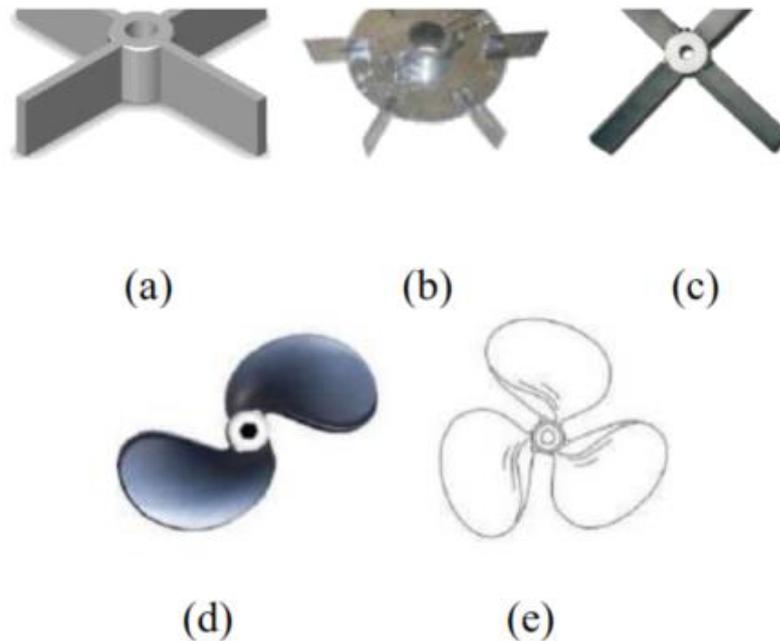
Adapun jenis pengaduk cepat secara mekanik yaitu :

- a. Turbine
- b. Paddle
- c. Propellers

Berikut tipe paddle, turbine dan propellers :



Gambar 2.10 Tipe Paddle (a) tampak atas (b) tampak samping



Gambar 2.11 Tipe turbine dan propeller : (a) turbine blade lurus (b) turbine blade dengan piringan (c) turbine dengan blade menyerang (d) propeller 2 blades (e) propeller 3 blades

➤ **Kriteria Perencanaan :**

- a. Waktu detensi ( $T_d$ ) = 20 – 60 detik  
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition, hal 184*)
- b. Gradien kecepatan = 700 – 100/detik  
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition, hal 184*)
- c. Tinggi bak ( $H$ ) = 1-1,25 Diameter bak
- d. Nre Turbulen = > 10000  
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4<sup>th</sup> edition, hal 182-187*)
- e. Diameter Impeller ( $D_i$ ) = 50 – 80% diameter atau lebar bak  
(*Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003*)
- f. Lebar paddle ( $W_i$ ) =  $1/6 - 1/10m$  (*Reynolds, Tom D. Dan Richards c. 2003*)

g. Kecepatan putaran impeller = 20-150 rpm (*Reynolds, Tom D. Dan Richards c. 2003*)

h. Jenis Impeller (Di)

Tabel 2.3 Tabel Jenis Impeller

Jenis Impeller	$K_L$	$K_T$
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41	0,32
<i>Propeller, Pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60	5,31
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	65	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70	4,8
<i>Fan Turbine, 6 blades at 45o</i>	70	1,65
<i>Shrouded Turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shrouded Turbine, with stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat Paddles, 2 blades (Single Paddle), D1/W1 = 4</i>	43	2,25
<i>Flat Paddles, 2 blades, D1/W1 = 6</i>	36,5	1,7
<i>Flat Paddles, 2 blades, D1/W1 = 8</i>	33	1,15
<i>Flat Paddles, 4 blades, D1/W1 = 6</i>	49	2,75
<i>Flat Paddles, 6 blades, D1/W1 = 8</i>	71	3,82

(Sumber: (Reynolds, Tom D. Dan Richards c. 2003))

### 2.3.5 Sedimentasi

*Removal* dari bak pengendap pertama ini tergantung dari kedalaman bak dan dipengaruhi oleh luas permukaan serta waktu detensi. Unit pengolahan bak pengendap I ini berfungsi untuk memisahkan padatanersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak sedimentasi bentuk *Rectangular* terbagi menjadi empat zona, yaitu :

- *Zona inlet*

*Zona inlet* berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar

transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (Kawamura, 2000).

- *Zona Pengendapan*

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh

dua faktor, yaitu :

1. Karakteristik partikel tersuspensi.
2. *Overflow rate*.
3. Dan efisiensi Bak.

- *Zona Lumpur*

*Zona lumpur* merupakan zona dimana partikel-partikel diskret yang telah mengendap berada. *Zona* ini memiliki kemiringan tertentu menuju ke *hopper* yang terletak di bagian bawah *inlet*. Kemiringan dasar bak *Rectangular* adalah sebesar 1-2%. *Zona lumpur* didesain memiliki kemiringan tertentu agar mempermudah pada saat pembersihan lumpur. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (Qasim,1985).

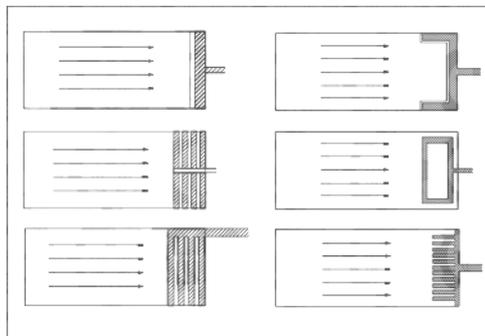
- *Zona Outlet*

Desain *Outlet* biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya.

Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat

mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah

dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona *Outlet* tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar. Penyusunan zona *Outlet* dapat dilihat pada **Gambar 2.12**



Gambar 2.12 Susunan Pelimpah pada *Outlet*

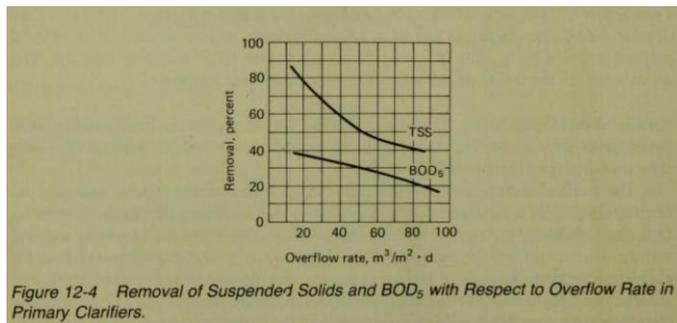
Berikut ini adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk menghitung Bak Sedimentasi pada setiap bagiannya :

### 1. Zona Settling

#### a. Kriteria perencanaan

1) *Over Flow Rate (OFR)*

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



Gambar 2.13 Grafik *Removal Suspended Solid* dan *BOD*

Sumber : Tabel 12.1 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269

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

TABLE 12-2 Detention Times for Various Overflow Rates and Tank Depths

Overflow Rate (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d)	Detention Period (h)					
	2.0-m Depth	2.5-m Depth	3.0-m Depth	3.5-m Depth	4.0-m Depth	4.5-m Depth
30	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6
40	1.2	1.5	1.8 <sup>a</sup>	2.1	2.4	2.7
50	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
60	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
70	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5
80	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4

<sup>a</sup> A 3.0 m deep sedimentation basin having an overflow rate of 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d will provide a detention period of 1.8 h.

Gambar 2.14 Waktu Detensi

Sumber : Tabel 12.2 (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : planning design and operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 269)

3) Dimensi

a) *Rectangular*

- Panjang (L) = 10-100 m
- Lebar (B) = 3-24 m
- Kedalaman (H) = 2,5-5m
- P : L = 1-7,5 : 1
- P : H = 4,2 – 25 : 1

b) *Circular*

- Diameter (D) = 3-60 m

- Kedalaman (H) = 3-6 m

**(Sumber: Tabel 12.3 (Qasim, 1985), *Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 271)**

4) %Removal TSS = 50-70 %

**(Sumber: (Huisman, 1977) *Sedimentation and Flotation Mechanical Filtration*. Delft University of Technology. Halaman 12)**

5) Bilangan Reynold (NRe) = <2000 (Laminer)

6) Bilangan Freud (NFr) = >10<sup>-5</sup> (mencegah aliran pendek)

7) *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)**

8) 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)**

9) Cek NRe partikel <0,5

10) Syarat terjadinya pengendapan ( $T_p < T_d$ )

11) Syarat terjadinya penggerusan ( $V_{sc} > V_h$ )

12) Suhu air buangan 26 °C, sehingga

- *Kinematic Viscosity* ( $\nu$ ) =  $8,77 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{dt}$

- *Absolute Viscosity* ( $\mu$ ) =  $8,75 \times 10^{-4} \text{ (N)(s)/m}^2$

- Massa Jenis ( $\rho$ ) =  $0,99681 \text{ gr/cm}^3$

=  $996,81 \text{ kg/m}^3$

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

13) Koef. Manning (n) = 0,012 – 0,016 (untuk bahan beton)

(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)

14) Kontrol Penggerusan

- Faktor kisi porositas ( $\beta$ ) = 0,05
- Faktor fraksi hidrolis ( $\lambda$ ) = 0,03

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

#### b. Rumus yang digunakan

1) Luas permukaan

$$A = \frac{Q}{\text{over flow Rate}}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

Q = Debit limbah ( $m^3/s$ )

2) Cek *over flow Rate* (OFR)

$$\text{OFR} = \frac{Q}{L \times W}$$

Keterangan :

Q = Debit limbah ( $m^3/s$ )

L = panjang (m)

W = lebar (m)

OFR = *over flow rate* ( $m^3/m^2 \cdot s$ )

3) Kecepatan pengendapan ( $v_s$ )

$$v_s = \frac{H}{T_d}$$

Keterangan :

$T_d$  = waktu detensi (s)

$V_s$  = kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

H = kedalaman (m)

4) Kecepatan Horizontal ( $v_h$ )

$$v_h = \frac{L}{T_d}$$

Keterangan :

$V_h$  = Kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

L = panjang pipa (m)

$T_d$  = waktu detensi (s)

5) Jari-jari hidrolis

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

Keterangan :

R = jari-jari hidrolis (m)

W = lebar (m)

H = kedalaman (m)

6) Diameter partikel ( $D_p$ )

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times \vartheta \times 18}{g \times (S_s - 1)}}$$

Keterangan :

$D_p$  = diameter partikel (m)

$\vartheta$  = *kinematic viscosity* ( $m^2/s$ )

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$V_s$  = Kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

$S_s$  = *specific Gravity suspended solid*

## 7) Bilangan Reynolds

### a) NRe partikel

$$\text{NRe partikel} = \frac{v_s \times D_p}{\vartheta}$$

Keterangan :

NRe = Bilangan Reynolds

$V_s$  = Kecepatan pengendapan ( $m^2/s$ )

$D_p$  = diameter partikel (m)

$\vartheta$  = kinematic viscosity ( $m^2/s$ )

### b) Nre Zona settling

$$\text{NRe} = \frac{v_h \times R}{\vartheta}$$

Keterangan :

NRe = Bilangan Reynolds

$V_h$  = Kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

$\vartheta$  = kinematic viscosity ( $m^2/s$ )

## 8) Bilangan Freud (NFr)

$$\text{NFr} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

Keterangan :

NFr = Bilangan Freud

$V_h$  = Kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = Kedalaman (m)

## 9) Cek penggerusan/kecepatan scouring ( $V_{sc}$ )

$$V_{sc} = \left[ \left( \frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (S_s - 1) \times g \times D_p \right]^{1/2}$$

Keterangan :

$V_{sc}$  = Kecepatan Scouring ( $m^2/s$ )

$S_s$  = specific Gravity suspended solid

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Dp = diameter partikel (m)

#### 10) Slope Bak

$$S_{\text{bak}} = 2\% \times L$$

Keterangan :

$S_{\text{bak}}$  = Slope bak (m/m)

L = panjang bak (m)

#### 11) Kehilangan Tekanan pada zona settling

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

Keterangan :

$H_f$  = Kehilangan tekanan pipa (m)

$V_h$  = Kecepatan horizontal ( $m^2/s$ )

n = koefisien kekasaran manning

R = jari-jari hidrolis (m)

L = panjang bak (m)

## 2. Zona inlet

### a. Kriteria perencanaan

- Berbentuk saluran terbuka

### b. Rumus yang digunakan

- Luas permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

A = Luas permukaan ( $m^2$ )

W = Lebar bak (m)

L = Panjang bak (m)

- Volume zona inlet

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan:

V = Volume bak (m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)

Td = Waktu detensi (s)

- Kedalaman zona inlet

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

$$H_{total} = H + Fb \times H$$

Keterangan:

H = Kedalaman bak (m)

V = Volume bak (m<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

H = Kedalaman bak (m)

Fb = Freeboard (m)

= 20% x H

- Kecepatan aliran

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

Keterangan:

V = Volume bak (m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)

W = Lebar bak (m)

H = Kedalaman bak (m)

- Jari – jari hidrolis

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

Keterangan:

R = Jari – jari hidrolis (m)

W = Lebar bak (m)

H = Kedalaman bak (m)

### 3. Zona Lumpur

#### a. Kriteria perencanaan

- Volatile Solid = 60 – 90 %
- Dry Solid = 3 – 8 %

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

- Spesifik Gravity Suspended Solid = 1.3 -1.5

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

- Massa Jenis ( $\rho$ ) = 0.99681 gr/cm<sup>3</sup> = 996.81 kg/m<sup>3</sup>

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

#### b. Rumus yang digunakan

- Removal TSS (output Sludge di Bak Pengendap)

$$C_n = C_o - (C_o \times (100\% - \% \text{removal}))$$

Keterangan:

$C_n$  = Removal TSS (mg/L)

$C_o$  = TSS inlet (mg/L)

% removal = persentase removal TSS

- Berat solid

$$\text{Berat solid} = \text{Removal TSS} \times Q$$

Keterangan:

$Q$  = Debit limbah (m<sup>3</sup>/s)

- Berat air

$$\text{Berat air} = \frac{95\%}{5\%} \times \text{Berat solid}$$

- Berat jenis solid

$$\mathbf{Sg = (60\% \times Sg \text{ volatile solid}) + (40\% \times Sg \text{ fixed solid})}$$

Keterangan:

$Sg$  = berat jenis solid ( $\text{kg/m}^3$ )

- Berat jenis sludge ( $S_i$ )

$$\mathbf{S_i = (5\% \times \text{berat jenis solid}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})}$$

Keterangan:

$S_i$  = Berat jenis sludge ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

- Volume solid ( $V_{\text{solid}}$ )

$$\mathbf{V_{\text{solid}} = \frac{\text{Berat solid}}{Sg \text{ solid}}}$$

Keterangan:

$V_{\text{solid}}$  = Volume solid ( $\text{m}^3$ )

$Sg$  = Berat jenis solid ( $\text{kg/m}^3$ )

- Volume air

$$\mathbf{V_{\text{air}} = \frac{\text{Berat air}}{\rho_{\text{air}}}}$$

Keterangan:

$V_{\text{air}}$  = Volume air ( $\text{m}^3$ )

$\rho_{\text{air}}$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

- Volume lumpur

$$\mathbf{V_{\text{lumpur}} = V_{\text{air}} + V_{\text{solid}}}$$

- Dimensi ruang lumpur

Volume Lumpur (m<sup>3</sup>) =  $V_{lumpur}$  (m<sup>3</sup>) × periode pengurasan

$$\text{Luas atas (Aa)} = \text{La} \times \text{Wa}$$

$$\text{Luas bawah (Ab)} = \text{Lb} \times \text{Wb}$$

$$V_{\text{ruang lumpur}} = \frac{1}{3} \times H \times ((Aa + Ab) + (\sqrt{Aa + Ab}))$$

Keterangan:

H = Kedalaman (m)

Aa = Luas permukaan atas (m<sup>2</sup>)

Ab = Luas permukaan bawah (m<sup>2</sup>)

La = panjang atas (m)

Wa = lebar atas (m)

Lb = panjang bawah (m)

Wb = lebar bawah (m)

- Pipa penguras
  - a. Debit pengurasan

$$Qp = \frac{V_{\text{ruang lumpur}}}{td}$$

Keterangan:

Qp = debit pengurasan ( m<sup>3</sup>/s )

Td = waktu detensi (s)

- Diameter pipa penguras

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

Keterangan:

D = diameter pipa (m)

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\pi$  = phi dengan besar 3.14

#### 4. Zona Outlet

##### a. Kriteria Perencanaan

- Zona Outlet bak pengendap I berupa weir bergerigi (V-Notch)
- Bentuk Gutter adalah Persegi Panjang
- Weir Loading Rate
  - o 124 m<sup>3</sup> /m.hr untuk debit 44 L/s
  - o 186 m<sup>3</sup> /m.hr untuk debit > 44 L/s

(Sumber : (Qasim, 1985), Wastewater Treatment Plants : Planning Design and Operation. Holt, Rinehart, and Winston. Halaman 270)

##### b. Rumus yang digunakan

- Luas permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan:

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

W = Lebar bak (m)

L = Panjang bak (m)

- Volume zona inlet

$$V = Q \times Td$$

Keterangan:

V = Volume bak (m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)

Td = Waktu detensi (s)

- Kedalaman zona inlet

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

$$H_{total} = H + Fb \times H$$

Keterangan:

- H = Kedalaman bak (m)
- V = Volume bak (m<sup>3</sup>)
- A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)
- H = Kedalaman bak (m)
- Fb = Freeboard (m)
- = 20% x H

- Kecepatan aliran

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

Keterangan:

- V = Volume bak (m<sup>3</sup>)
- Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/s)
- W = Lebar bak (m)
- H = Kedalaman bak (m)

- Jari – jari hidrolis

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

Keterangan:

- R = Jari – jari hidrolis (m)
- W = Lebar bak (m)
- H = Kedalaman bak (m)

- Kehilangan tekanan

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

Keterangan :

Hf = kehilangan tekanan pipa (m)

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

n = koefisien kekasaran manning pipa besi tanpa

lapisan R = jari – jari hidrolis (m)

L = panjang pipa (m)

S = kemiringan pipa (m/m)

- Gutter dan Weir (Pelimpah)

- a. Panjang Weir (Pw)

$$Pw = \frac{Q}{\text{Weir loading rate} \times H}$$

Keterangan:

Pw = Panjang Weir (m)

Q = debit limbah ( m<sup>3</sup>/s)

- b. Luas saluran pelimpah gutter

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

Keterangan:

A = luas permukaan gutter (m<sup>2</sup>)

Q = debit limbah ( m<sup>3</sup>/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

- c. Ketinggian air pada gutter (Hair)

$$Hair = \left( \frac{Q \text{ Gutter}}{1.38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

Hair = ketinggian air (m)

Q gutter= debit yang melalui gutter ( m<sup>3</sup>/s)

d. Tinggi gutter

$$\mathbf{H\ gutter = H + Fb \times H}$$

Keterangan:

Hgutter = tinggi Gutter (m)

H = kedalaman (m)

Fb = Freeboard (m)

= 20% × H

e. Jari – jari hidrolis (R)

$$\mathbf{R_{gutter} (m) = \frac{Hair(m) \times Lebar\ Gutter(m)}{2 \times Hair(m) + Lebar\ Gutter(m)}}$$

f. Luas basah gutter

$$\mathbf{A_{gutter} = Lebar\ Gutter \times Hair}$$

g. Kemiringan gutter

$$\mathbf{S = \left( \frac{Q\ gutter \times n}{A \times R^{2/3}} \right)^2}$$

Keterangan:

S = kemiringan gutter (m/m)

Q = debit gutter ( m<sup>3</sup>/s)

n = jumlah kisi (kisi / buah)

A = luas gutter (m<sup>2</sup>)

R = jari – jari hidrolis (m)

• Vnotch

a. Jumlah vnotch

$$\mathbf{n\ Vnotch = \frac{Pw (m)}{jarak\ antar\ Vnotch + lebar\ vnotch}}$$

b. Debit mengalir tiap V notch

$$Q_{Vnotch} = \frac{Q}{n_{Vnotch}}$$

Keterangan:

$Q_{Vnotch}$  = debit melalui Vnotch ( $m^3/s$ )

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

$n$  = jumlah v notch

c. Tinggi peluapan melalui v notch

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

Keterangan:

$Q_{Vnotch}$  = debit melalui Vnotch ( $m^3/s$ )

$Cd$  = koefisien drag

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H$  = kedalaman (m)

### 2.3.6 Netralisasi

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

Proses penetralan umumnya dilakukan dengan pengadukan di dalam bak pencampur dengan waktu detensi berkisar antara 5 sampai 30 menit, dan biasanya dilengkapi dengan kontrolir pH. Penetralan dengan memakai kapur dapat menimbulkan endapan garam kalsium (Said, 2017). Dalam proses netralisasi, terdapat dua

(2) sistem yang digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem - sistem tersebut diantaranya sebagai berikut (Eckenfelder, 2000).

- Sistem batch biasa digunakan pada air limbah yang memiliki debit lebih kecil dari 380 m<sup>3</sup> /hari.
- Sedangkan sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman (pH).

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

Berikut merupakan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit netralisasi:

a. Bak Pembunuh

- Dosis NaOH

$$\text{Dosis} = \frac{q \text{ (mg)}}{V.\text{air (L)}} \times \frac{1}{BM \left(\frac{g}{mol}\right)} \times \frac{1}{1000 \text{ (mg/g)}}$$

- Kebutuhan NaOH

$$\text{NaOH} = \text{Dosis NaOH} \times Q \text{ air limbah}$$

- Kebutuhan air pelarut

$$Q_1 \times N_1 = Q_2 \times N_2$$

- Volume total

$$V_{\text{total}} = Q_{\text{total}} \times T_d$$

Keterangan:

$$Q = \text{debit air}$$

$$T_d = \text{waktu detensi}$$

- Dimensi tangki

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

Keterangan:

d = diameter tangki

h = tinggi tangki

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

$\mu$  = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek bilangan Reynold

$$Nre = \frac{(D_i)^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

Di = diameter impeller

$\mu$  = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

#### b. Bak Netralisasi

- Volume tangki netralisasi

$$\text{Volume tangki} = Q \times Td$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{air}} + V_{\text{pembubuh}}$$

- Dimensi tangki netralisasi

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

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

- Suplai tenaga ke air

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

$\mu$  = viskositas dinamik

V = volume tangki

- Cek Di

$$\text{Cek Di} = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

Keterangan:

Di = diameter impeller

D = diameter tangki

- Cek nilai bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{(D_i)^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

Di = diameter impeller

$\mu$  = viskositas dinamik

n = kecepatan putaran paddle

- Luas penampang pipa

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

Keterangan:

Q = debit air

V = volume tangki

- Diameter pipa outlet

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

- Cek kecepatan pipa outlet

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

Keterangan:

Q = Debit air

A = luas

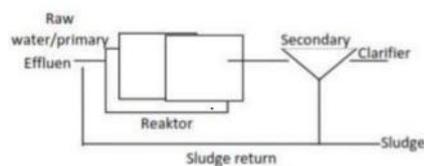
### 2.3.7 Activated Sludge

Pengolahan lumpur aktif adalah sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tangki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen. Dalam hal menurunkan organik, bakteri yang berperan adalah bakteri heterotrof. Sumber energi berasal dari oksidasi senyawa organik dan sumber karbon (organik karbon).

Bakteri yang mampu mendegradasi fenol antara lain *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.*, dan *Arthrobacter sp.* Selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bakteri *Serratia sp.* juga mampu mendegradasi senyawa fenol yang terkandung dalam limbah industri. Semakin besar konsentrasi MLSS, semakin besar penurunan fenol. Semakin besar konsentrasi MLSS berarti semakin banyak jumlah mikroba yang memanfaatkan fenol sebagai sumber makanan dan mendegradasi fenol tersebut sehingga penurunan fenol semakin besar (Cho et al., 2000) Adapun jenis *activated sludge*, yaitu:

### 1. Konvensional

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



Gambar 2. 15 Lumpur Aktif Sistem Konvensional

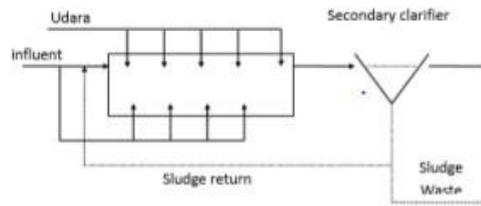
Sumber : Reynold,427

### 2. Non Konvensional

#### a. Step Aeration

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

pendek.

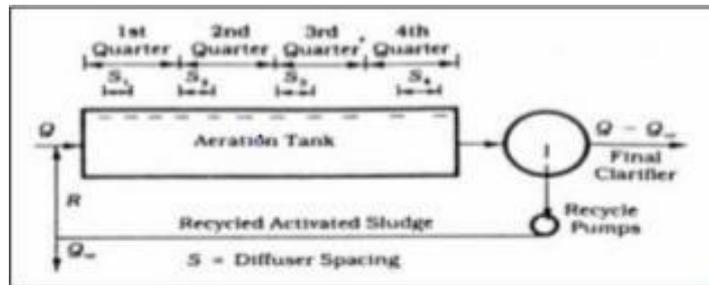


Gambar 2. 16 Lumpur Aktif Non Konvensional Step Aerasi

Sumber : Reynlod, 441

### b. Tapered Aeration

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



Gambar 2. 17 Lumpur Aktif Sistem Tapered Aeration

Sumber : Reynold 430

### c. Contact Stabilization

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 telah diabsorb (proses stabilisasi).



Gambar 2. 18 Lumpur Aktif Dengan Sistem Contact Stabilization

Sumber : <https://www.americanwatercollege.org/68258-2/>

Pada perencanaan ini jenis *activated sludge* yang digunakan adalah Konvensional. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

1. Removal Polutan

$$\mathbf{BOD_{ef} = BOD_{influent} - (\% \text{Removal} \times BOD_{influent})}$$

2. Pencemar organic berupa lumpur

$$\mathbf{BOD_{ss} = BOD_{effluent} \times (MLVSS/MLSS) \times f_b}$$

Keterangan:

VSS = Rasio perbandingan VSS dan SS

F<sub>b</sub> = Fraksi *biodegradable* VSS

3. Bahan organic terlarut (S<sub>r</sub>)

$$\mathbf{BOD_{sr} = BOD_{effluent} - BOD_{ss}}$$

4. Efisiensi pengolahan biologi

- a. Efisiensi BOD terlarut dalam effluent

$$\mathbf{E\% = \left( \frac{BOD_{influent} - BOD_{terlarut}}{BOD_{influent}} \right) \times 100\%}$$

- b. Efisiensi BOD terlarut total

$$\mathbf{E\% = \left( \frac{BOD_{influent} - BOD_{effluent}}{BOD_{influent}} \right) \times 100\%}$$

5. Debit Resirkulasi (Q<sub>r</sub>)

$$\mathbf{Q_r = Q_0 \times R}$$

Keterangan:

Q<sub>r</sub> = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>0</sub> = Debit air limbah awal (m<sup>2</sup>/s)

R = Rasio resirkulasi

6. Debit total bioreactor

$$Q_{total} = Q_0 + Q_r$$

7. Konsentrasi BOD di dalam bioreactor ( $S_a$ )

$$S_a = \frac{(S_0 \times Q_0) + (S_r \times Q_r)}{(Q_0 + Q_r)}$$

Keterangan:

$S_a$  = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

$S_r$  = Konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

$S_0$  = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

$Q_r$  = Debit resirkulasi ( $m^3/s$ )

$Q_0$  = Debit air limbah awal ( $m^3/s$ )

8. Volume bioreactor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_{total} \times (S_0 - S_a)}{X_a \times (1 + K_d \times F_b \times \theta_c)}$$

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

Keterangan:

$V$  = Volume bioreactor

$Y$  = *Yield coefficient* (g VSS / g BOD<sub>5</sub> removed)

$\theta_c$  = Umur lumpur (hari)

$S_a$  = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

$S_0$  = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

$Q_a$  = Debit air limbah total ( $m^3/s$ )

$X_a$  = MLVSS (mg/L)

$K_d$  = Endogeneous Respiration Coefficient (g VSS / g VSS.d)

$F_b$  = Biodegradable fraction of VSS

9. Dimensi bak *activated sludge*

$$\text{Volume} = L \times B \times H$$

Keterangan

V = Volume bak penampung (m<sup>3</sup>)

L = Panjang (m)

B = Lebar (m)

H = Kedalaman (m)

10. Waktu tinggal hidrolis

$$T_d = \left( \frac{L \times B \times H}{Q_{total}} \right) \times 24$$

Keterangan:

T<sub>d</sub> = Waktu tinggal hidrolis (jam)

L = Panjang bioreaktor (m)

B = lebar bioreaktor (m)

H = Kedalaman bioreaktor (m)

Q<sub>a</sub> = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/s)

11. F/M ratio

$$F/M = \frac{S_a}{t_d \times X_a}$$

Keterangan:

S<sub>a</sub> = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

X<sub>a</sub> = MLVSS (mg/L)

T<sub>d</sub> = Waktu tinggal hidrolis (jam)

12. Volumetric loading (VL)

$$V_L = \frac{S_a \times Q_{total}}{V}$$

Keterangan:

V<sub>L</sub> = Volumetric Loading (kg.BOD/m<sup>3</sup>.hari)

S<sub>a</sub> = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

Q<sub>total</sub> = Debit total (m<sup>3</sup>/hari)

V = Volume bioreaktor (m<sup>3</sup>)

13. Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X(1+R)}{R}$$

Keterangan:

X<sub>r</sub> = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Q<sub>r</sub> = Debit resirkulasi (m<sup>3</sup>/s)

14. Produksi lumpur setiap hari

- a. Koefisien  $\gamma$  observed ( $\gamma_{obs}$ )

$$\gamma_{obs} = \frac{y}{1+(k_d \times \theta_c)}$$

- b. Produksi lumpur ( $P \times MLVSS$ )

$$P \times MLVSS = \frac{\gamma_{obs} \times Q_{total} (S_o - S_a)}{1000000}$$

- c. Produksi lumpur ( $P \times MLSS$ )

$$Px = \frac{P \times MLVSS}{VSS/SS}$$

Keterangan:

$\gamma_{obs}$  = Kuantitas lumpur tiap hari (mg.Vss/mg.BOD)

$y$  = Koefisien batas pertumbuhan (mg.VSS/mg.BOD)

$K_d$  = Koefisien endogeneous (hari)

$\theta_c$  = Ummur lumpur (hari)

$P_x$  = Produksi lumpur (kg/hari)

$Q_{total}$  = Debit air limbah total (m<sup>3</sup>/s)

$S_a$  = Konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

$S_o$  = Konsentrasi BOD awal (mg/L)

$VSS/SS$  = Rasio perbandingan VSS dan SS

15. Debit lumpur yang dibuang ( $Q_w$ )

- a. Jika dibuang melalui reaktor

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c}$$

- b. Jika dibuang melalui resirkulasi

$$Q_w = \frac{V \times X}{\theta_c \times X_r}$$

Keterangan:

$Q_w$  = Debit yang dibuang (m<sup>3</sup>/hari)

$V$  = Volume bioreactor (m<sup>3</sup>)

$\theta_c$  = Umur lumpur (hari)

X = MLSS (mg/L)

X<sub>r</sub> = Konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

#### 16. Volume lumpur

$$VL = \frac{px \times \theta c}{\gamma \times c}$$

Keterangan:

VL = Volume lumpur (m<sup>3</sup>)

P<sub>x</sub> = Produksi lumpur (kg/m<sup>3</sup>)

C = Konsentrasi lumpur

θ<sub>c</sub> = Umur lumpur (hari)

#### 17. Dimensi lumpur

$$\text{Volume} = L \times B \times H$$

Keterangan:

L = Panjang (m)

B = Lebar (m)

H = Kedalaman

#### 18. Kebutuhan oksigen

$$\text{Kebutuhan Oksigen} = \frac{1,46 \times Qin \times (Co - Cr)}{10^3}$$

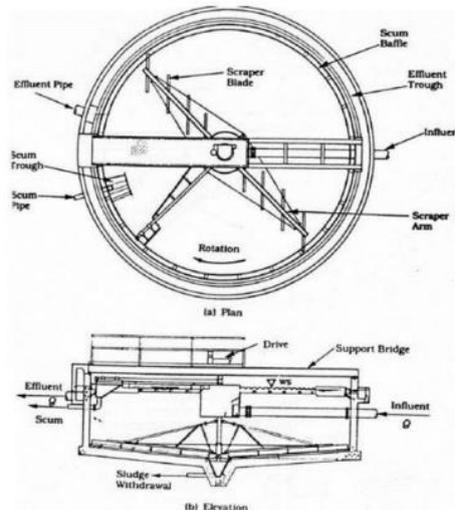
### 2.3.8 Clarifier

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 masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

Bangunan clarifier 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 ditengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10 - 15 feet (3 - 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (sludge blanket) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).



Gambar 2. 19 Desain Clarifier

Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/clarifier-system-11853391312.html>)

Berikut merupakan perhitungan dari clarifier

1. Volume bak

$$V = Q \times td$$

2. Luas permukaan bak

$$A = \frac{Q}{\text{Over flow rate}}$$

Keterangan:

Q = Debit masuk ke clarifier (m<sup>3</sup>/s)

3. Diameter bak

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

Diameter inlet wall

Diw = 20% x diameter bak

Keterangan:

A = Luas permukaan bal (m<sup>2</sup>)

4. Cek waktu detensi

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

Keterangan:

Q = Debit masuk clarifier (m<sup>3</sup>/s)

V = Volume Bak (m<sup>3</sup>)

5. Kecepatan pengendapan

$$V_s = \frac{H}{t_d}$$

- Zona thickening

1. MLVSS dalam clarifier

$$MLVSS_{AS} = P \times MLVSS \text{ total}$$

$$MLVSS \text{ clarifier} = MLVSS \text{ total} - MLVSS_{AS}$$

Keterangan:

P = Persentase biological tetap dalam bak AS

MLVSS = dari bak AS ( $\text{kg/m}^3$ )

2. Massa solid pada clarifier

$$\mathbf{M \text{ solid} = MLVSS \text{ clarifier} \times \text{Volume bak clarifier}}$$

3. Kedalaman zona thickening

$$\mathbf{H = \frac{M \text{ solid}}{X \times A}}$$

Keterangan:

X = MLSS pada AS ( $\text{kg/m}^3$ )

A = Luas permukaan bak ( $\text{m}^2$ )

- Zona sludge

1. Total lumpur

$$\mathbf{T_s = P \times MLSS \times \text{waktu pengurasan}}$$

2. Total massa lumpur pada bak

$$\mathbf{T_{ms} = T_s + M \text{ solid}}$$

Keterangan:

M solid = Massa solid pada clarifier (kg)

3. Volume lumpur

$$\mathbf{V_s = \frac{T_s}{P_s}}$$

Keterangan:

Ts = Total lumpur (kg)

Ps = Massa jenis lumpur ( $\text{kg/m}^3$ )

4. Tinggi ruang lumpur

$$\mathbf{V_s = 1/3 \times H \times (A + A' + \sqrt{A} + A')}$$

Keterangan:

$V_s$  = Volume lumpur ( $m^3$ )

$H$  = Tinggi ruang lumpur

$A$  = Luas permukaan atas ( $m^2$ )

$A'$  = Luas permukaan dasar ( $m^2$ )

- Zona outlet
  1. Panjang keliling weir

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

2. Jumlah v-notch

$$N = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{Jarak anatar } v\text{-notch}}$$

3. Tinggi air melalui v-notch

$$Q_{v = \text{notch}} = \frac{8}{15} \times cd \times \sqrt{2 \times g} \times \text{tg} \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

4. Panjang basah tiap pelimpah

$$L_i = \frac{2 \times H}{\text{tg} \frac{90^\circ}{\gamma}}$$

### 2.3.9 Adsorpsi

Pengolahan air limbah domestik lebih dominan menggunakan pengolahan biologis baik secara aerob maupun anaerob. Hal ini dinilai lebih efektif dari pada proses fisik dan kimia karena kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan yang ada dalam air limbah. Namun tidak semua komponen pencemar dapat didegradasi oleh mikroorganisme pada proses biologis. Dalam beberapa kasus, pengobatan biologis tidak dapat mengolah air limbah secara efektif karena komponen bandel hadir dalam air limbah. Oleh karena itu, proses fisik-kimia dapat menjadi salah satu solusi yang tepat (Getzer, et al., 2004). Diantara berbagai macam proses pengolahan secara fisik, adsorpsi karbon aktif paling sering digunakan untuk menyerap bahan organik volatile dan bioresistant pada air limbah. Kandungan polutan

organik pada air limbah yang melewati kompartemen karbon aktif akan diserap dan kemudian terendapkan.

Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang paling sering digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Hal ini disebabkan karena karbon aktif memiliki daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik jika dibandingkan jenis adsorben lainnya (Walas, 1990). Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi, yaitu terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi pada karbon aktif terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radial secara bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom oksigen maupun nitrogen. Karbon aktif yang baik harus memiliki luas area permukaan yang cukup besar agar daya adsorpsinya juga besar (Sudibandriyo, et al., 2003). Karbon aktif merupakan arang dengan struktur amorphous atau mikrokristalin yang sebagian besar terdiri atas karbon bebas dan memiliki internal surface. Kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsi. Aktifitas penyerapan karbon aktif tergantung dari kandungan senyawa karbon dalam bahan, umumnya terdiri dari 85-95% karbon bebas (Ramdja, 2008)

Proses pengolahan air limbah domestik umumnya dipadukan dengan metode adsorpsi karbon aktif. Pengolahan dengan metode ini berfungsi untuk membunuh mikroorganisme, menyetarakan kandungan kimia dan menyerapnya, netralisasi limbah asam maupun basa, memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tak terlarut, filtrasi, mengoksidasi warna dan racun, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak serta meningkatkan efisiensi instalasi flotasi. Pada prinsipnya proses yang terjadi pada pengolahan air limbah domestik dengan karbon aktif ini adalah metode adsorpsi. Metode ini merupakan proses pemisahan air limbah dari pencemar yang terlarut di dalamnya dengan cara penyerapan, seperti partikel-

partikel diskrit, kation-kation, maupun kandungan bau pada air limbah. Adsorpsi adalah suatu fenomena meningkatnya konsentrasi suatu partikel tertentu antara dua fase suatu material yang diserap (adsorbat) oleh bahan penyerap (adsorben).

Karbon aktif biasanya digunakan dalam bentuk bubuk (powder) dengan ukuran  $< 200$  mesh atau dalam bentuk butiran (granular) dengan diameter  $> 0,1$  mm. Ukuran partikel dan luas permukaan ( $m^2 / gr$ ) adalah sifat penting dari karbon aktif untuk digunakan sebagai adsorben. Pengolahan air limbah biasanya menggunakan ukuran partikel berbentuk granular. Luas permukaan atau ukuran partikel pada karbon aktif juga mempengaruhi kecepatan daya adsorpsinya. Karbon aktif dalam bentuk granular dapat menyerap zat organik terlarut pada konsentrasi hingga  $100$  mg/ dalam waktu  $1$  jam dengan pengadukan yang cukup. Kelebihan lain dari karbon aktif adalah prospek menghasilkan effluen dengan konsentrasi zat organik yang kecil. Karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben sehingga mampu menyerap kandungan pencemar yang terlarut maupun tersuspensi di dalam air limbah domestik. pH akan berpengaruh terhadap muatan permukaan adsorben, derajat ionisasi, dan kesetimbangan kimia. Waktu adsorpsi juga mempengaruhi proses adsorpsi, karena dalam prosesnya dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan adsorben menyerap zat pencemar (Nurhayati, 2018).

Karbon aktif juga digunakan untuk menghilangkan bau, warna, logam berat dan pengotor-pengotor organik (Said, 2010). Sebagai senyawa karbon, kemampuan daya adsorpsinya dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Pada proses ini terjadi penghilangan kadar hidrogen ( $H_2$ ), gas-gas dan air pada permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi pada karbon aktif terjadi karena adanya gugus aktif yang terbentuk akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Proses aktivasi pada karbon aktif dapat terjadi melalui dua cara, yaitu aktivasi secara kimia dan fisika.

Tabel 2. 4 Kriteria Perencanaan Adsorpsi

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Volume <i>flowrate</i> (V)	50-400	m <sup>3</sup> /jam
Volume <i>Bed</i> (Vb)	10-50	m <sup>3</sup>
Luas penampang	5-30	m <sup>2</sup>
Panjang <i>bed</i> media	1,8-4	m
Densitas arang	350-550	kg/m <sup>3</sup>
Kecepatan aliran <i>bed</i> (vf)	5-15	m/jam
Waktu kotak <i>bed</i> kosong	5-30	menit
Waktu kontak efektif	2-10	menit
Waktu operasi	100-600	hari

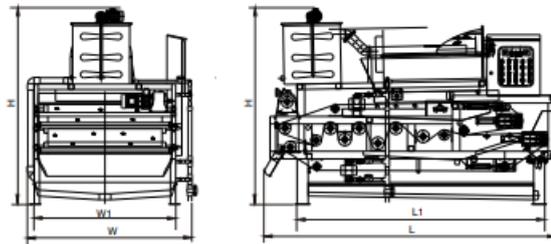
Sumber : Metclaf & Eddy, 2004

### 2.3.10 Filter Belt Press dan Bak Penampung

Sebagian besar dari jenis *Belt-Filter Press*, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Dibeberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan *vacuum*, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan pergeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *Scrapper blade* Sistem operasi jenis *belt-filter press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (*flokulator*), *beltfilter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung (*compressor*, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt-filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi),

porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Belt-filter press* ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2. 20 Desain Filter Belt Press

Sumber : Google.com

*Belt-Filter Press* mempunyai ukuran lebar *belt* dari 0.5-3.5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar *belt* antara 1.6-6.3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.

## 2.4 Persen Removal

Persen removal zat pencemar untuk masing-masing unit diambil berdasarkan literatur, seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 5 Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

Unit	Parameter Teremoval	Range % Removal	Literatur
Sedimentasi	TSS	80-90%	Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, hal. 497.
	COD	41,50%	Song, Z., Williams, C. J. M., & Edyvean, R. G. J. (2000). Technical Note Sedimentation of Tannery Wastewater. 34(7), 2171 – 2176.
Netralisasi	pH	6-9	Eckenfelder, 2000. Hlm 48
Activated Sludge	COD	50 - 95%	Cavaseno, V. (1987). Industrial Wastewater and Solid Waste Engineering. Page 15.
	Fenol	95 - 99%	
	BOD	80 - 99%	
Clarifier	TSS	50%	Metcalf & Eddy. Waste Water Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition Hal 396
Adsorpsi	Fenol	95%	Huang R, Yang B, Liu Q, Liua Y. Multifunctional activated carbon/ chitosan composite preparation and its simultaneous adsorption of Sustainable Energy. 2014; 33(3):814–23.
	Chromium	95%	
	COD	98,74%	Rochma, N., & Titah, H. S. (2017). Penurunan BOD dan COD limbah cair industri batik menggunakan karbon aktif melalui proses adsorpsi secara batch. Jurnal Teknik ITS, 6(2), F325-F329.
	BOD	92,30%	

## 2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “*hidrolic grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen- effluen) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat

aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut :

- 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 :

1. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
2. Tinggi muka air

Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air didalam bangunan pengolahan.

- 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:

- Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- Kehilangan tekanan pada bak
- Kehilangan tekanan pada pintu air
- Kehilangan tekanan pada *weir*, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus

- b. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- Kehilangan tekanan pada perpipaan
- Kehilangan tekanan pada aksesoris
- Kehilangan tekanan pada pompa

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat mengakibatkan kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b. Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- d. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air