

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Karakteristik Limbah Industri Tahu

Tahu merupakan jenis makanan yang mengandung nilai gizi, protein berbahan dasar kacang kedelai. Kebutuhan terhadap kedelai mencapai 2,3 juta ton pertahun, dimana 40% yang dikonsumsi berupa tahu, 50% berupa tempe dan 10% minyak kedelai (Buchori et al., 2012). Tahu merupakan makanan yang terdiri dari bahan dasar kacang kedelai yang telah dihancurkan dan proteinnya digumpalkan serta dibentuk menjadi bentuk seperti kotak pada umumnya. Produksi tahu yang dilakukan masih secara tradisional, akibatnya tidak adanya sistem yang mengatur pembuangan sehingga akan menghasilkan buangan atau ada sisa yang dapat berupa limbah (Yudhistira et al., 2018).

Limbah tahu terdapat 2 macam bentuk yakni padat dan cair. Sumber limbah tahu yang berbentuk padat berasal dari kotoran hasil pembersihan kedelai, sisa bubur biasa disebut ampas tahu, sedangkan sumber limbah tahu yang berbentuk cair berasal dari pembersihan kedelai, pembersihan peralatan, perendaman, pencetakan dan pencucian tahu (Kaswinarni, 2008). Karakteristik industri tahu berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya yakni sebagai berikut:

II.1.1 Temperatur

Suhu atau temperatur adalah ukuran panas atau dinginnya air limbah. Suhu merupakan parameter yang sangat penting dikarenakan efeknya terhadap reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan organisme air dan penggunaan air untuk berbagai aktivitas sehari-hari (Metcalf and Eddy, 2003). Terjadinya reaksi kimia yang sejalan dengan meningkatnya temperatur, ditambah dengan terjadinya penurunan kuantitas oksigen pada air permukaan, dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air limbah (Metcalf and Eddy, 2003). Kenaikan temperatur sebesar

10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme 2 kali lipat (Indrayani & Rahmah, 2018).

Tabel 2.1 Klasifikasi Temperatur dari Proses Biologi

Type	Temperatur Range (°C)	Optimum Range (°C)
Psuchrophilic	10-30	12-18
Mesophilic	20-50	25-40
Thermophilic	35-75	55-65

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

II.1.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD atau Biochemical Oxygen Demand adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). BOD dinyatakan dengan BOD5 hari pada suhu 20°C dalam mg/L atau ppm. Agar bahan-bahan organik dapat dipecah secara sempurna pada suhu 20°C dibutuhkan waktu lebih dari 20 hari, tetapi agar lebih praktis diambil waktu lima hari sebagai standar. Inkubasi 5 hari tersebut hanya dapat mengukur kira-kira 68% dari total BOD. Pemeriksaan BOD5 diperlukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik atau industri, serta untuk mendesain sistem pengolahan limbah biologis (Sawyer & McCarty, 1978). Tingginya kadar BOD dalam suatu perairan biasanya ditunjukkan dengan tingginya kandungan mikroorganisme dalam perairan tersebut (Schaechter, 1992).

Kandungan BOD pada air limbah industri tahu ini sebesar 2290 mg/L, sedangkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu kandungan BOD yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 150 mg/L.

II.1.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan

organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi.

Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat di reduksi dengan metode pengolahan yang konvensional (Rachmawati, 2017).

Kandungan COD pada air limbah industri tahu ini sebesar 5190,9 mg/L, sedangkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu kandungan COD yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebesar 300 mg/L.

II.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

TSS (Total Suspended Solid) atau total padatan tersuspensi adalah segala macam zat padat dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimum 2,0 μm dan dapat mengendap (Widyaningsih, 2011).

Kekeruhan air erat sekali hubungannya dengan nilai TSS karena kekeruhan pada air salah satunya memang disebabkan oleh adanya kandungan zat padat tersuspensi. Zat tersuspensi yang ada di dalam air terdiri dari berbagai macam zat, misalnya pasir halus, tanah liat, dan lumpur alami yang merupakan bahan-bahan anorganik atau dapat pula berupa bahan-bahan organik yang melayang-layang di dalam air (Alaerts dan Santika, 1987).

Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi pada air sungai akan menyebabkan air sungai tersebut menjadi keruh. Kekeruhan akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dasar sungai. Terhalangnya sinar matahari untuk masuk ke dasar sungai menyebabkan proses fotosintesis

terganggu. Proses fotosintesis yang terganggu mengakibatkan turunnya kadar oksigen terlarut yang dilepas ke dalam air sungai oleh tanaman. Turunnya kadar oksigenterlarut dalam air sungai akan mengganggu ekosistem sungai tersebut. Kadar oksigen terlarut di dalam air sungai yang menurun secara terus menerus akan mengakibatkan tanaman serta organisme yang berada di sungai tersebut lama-lama akan mengalami kematian (Alaerts & Sumestri, 2004).

Kandungan TSS pada air limbah industri tahu ini sebesar 2800 mg/L, sedangkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu kandungan TSS air limbah yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan yakni sebesar 100 mg/L.

II.1.5 Derajat Keasaman

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran untuk menentukan sifat asam dan basa. Perubahan pH di suatu air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 1-14. Kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ningrum, 2018). Derajat keasaman menunjukkan perlu atau tidaknya pengolahan pendahuluan (pretreatment) untuk mencegah terjadinya gangguan pada proses pengolahan limbah cair secara konvensional. Kandungan pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memperburuk emulsifikasi minyak dalam air.

Secara umum, dapat dikatakan bahwa pH limbah cair domestik adalah mendekati netral (Soeparman, 2002). 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, 2004).

Kandungan pH pada air limbah industri tahu ini sebesar 3, sedangkan menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku

mutu kandungan pH air limbah yang di perbolehkan dibuang ke lingkungan yakni sebesar 6,0-9,0.

II.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Bangunan pengolahan air limbah harus dirancang dan dikelola dengan baik sesuai dengan jenis kandungan limbahnya agar dapat menurunkan beban pencemar secara tepat dan efektif. Menurut (Kencanawati, 2016) tujuan utama pengolahan air limbah ialah untuk mengurai kandungan bahan pencemar di dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam Menurut Sugiharto (1987), pengolahan air limbah berdasarkan tingkat perlakuan dapat dikelompokkan menjadi beberapa tahap yaitu :

II.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Sebelum mengalami proses pengolahan perlu kiranya dilakukan pembersihan-pembersihan agar mempercepat dan memperlancar proses pengolahan selanjutnya. Adapun kegiatan tersebut berupa pengambilan benda terapung dan pengambilan benda yang mengendap seperti pasir (Sugiharto, 2005:96).

Tahap pengolahan ini melibatkan proses fisik yang bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan minyak dalam aliran air limbah. Beberapa proses pengolahan yang berlangsung pada tahap ini ialah screen and grit removal, equalization and storage, serta oil separation (Kencanawati, 2016).

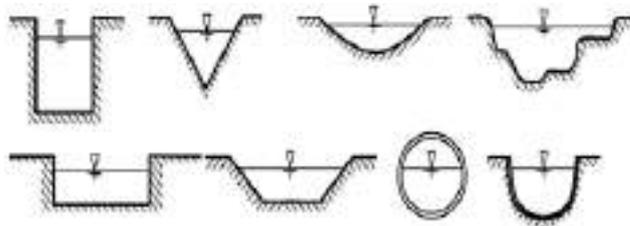
Pengolahan pendahuluan digunakan untuk memisahkan padatan kasar, mengurangi ukuran padatan, memisahkan minyak atau lemak, dan proses menyetarakan fluktuasi aliran limbah pada bak penampung. Unit yang terdapat dalam pengolahan pendahuluan adalah (Soeparman dan Suparmin, 2002:106).

II.2.1.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang menyalurkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa

ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton. Saluran pembawa ini juga dapat dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan saluran pembawa tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memperhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Apabila saluran pembawa ini diatas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan atau slope (m/m).

Saluran pembawa yang baik adalah saluran yang setiap 10 m memiliki bak kontrol. Saluran terbuka (open channel flow) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). 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). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segitiga, segi empat, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut.



Gambar 2.1 Potongan Saluran Terbuka

(Sumber : <https://slideplayer.info/slide/14415070/>)



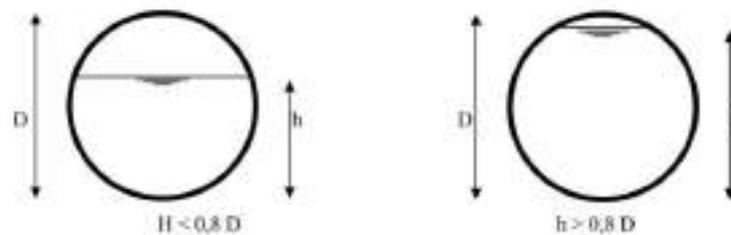
Gambar 2.2 Saluran Pembawa

(Sumber :

https://i.ytimg.com/vi/msDrYHc_mHw/maxresdefault.jpg)

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 di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi yaitu aliran pada saluran terbuka. Saluran tertutup dapat menggunakan pipa dengan memperhatikan bahan yang digunakan dengan karakter limbah yang dihasilkan (Wesli, 2008).

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan saluran tertutup (pipa) adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Pipa yang alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).



Gambar 2.3 Potongan Saluran Tertutup

(Sumber : <https://www.slideshare.net/jefrymaulana7/01-hidrolika>)

Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah air limbah dari proses produksi dialirkan menuju bak penampung melalui saluran pembawa. Berikut adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan dalam merancang bangunan ini.

1. Rumus yang digunakan

Rumus yang digunakan pada unit ini sebagai berikut:

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{s)}}{v \text{ (m/s)}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

Q = Debit limbah (m^3/s)

V = Kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Kedalaman Saluran Pembawa (H)

$$H = \frac{A (m^2)}{B (m)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

B = Lebar saluran pembawa (m)

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Ketinggian total (H_{total})

$$H_{total} = H + (10 - 30\% \times H) \quad (2.3)$$

Keterangan :

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

Freeboard = 10% - 30%

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959. Open Channel Hydraulics, hal 5. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)

- Diameter Pipa Inlet (D)

$$A = \pi \times \left(\frac{D(m)}{2}\right)^2 \quad (2.4)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A (m^2)}{\pi}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

D = Diameter pipa (m)

- Cek Kecepatan (V)

$$V = \frac{Q (m^3/s)}{A (m^2)} \quad (2.6)$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m^2)

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

V = Kecepatan alir dalam saluran pembawa (m/s)

- Slope Saluran Pembawa(S)

$$h = \frac{v^2 (m/s)}{2 \times g (m/s^2)} \quad (2.7)$$

Keterangan :

h = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

v = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$Hf = n \times L \quad (2.8)$$

Keterangan :

n = Koefisien manning bahan

Hf = Headloss saluran pembawa (m)

L = Panjang saluran pembawa (m)

$$S = h_{statis} \times Hf \quad (2.9)$$

Keterangan :

S = Slope saluran pembawa (m)

Hf = Headloss saluran pembawa (m)

h = Kedalaman statis yang dipengaruhi oleh H friksi (m)

II.2.1.2 Saringan (bar screen/bar racks)

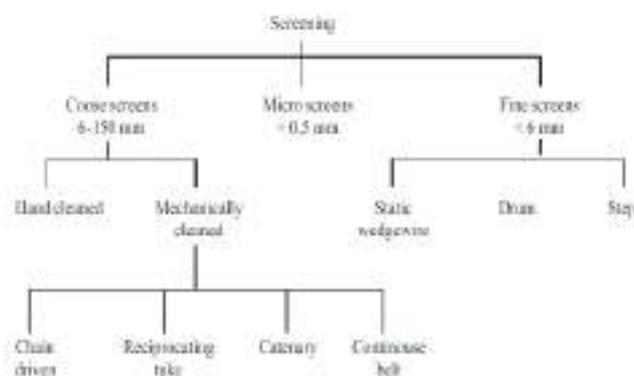
Screening merupakan unit pertama yang digunakan pada pengolahan air limbah. Screening digunakan dalam menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. (United States Environmental Protection Agency, 2000).

Fungsi screen adalah :

- a. Menyaring benda-benda padat dan kasar yang ikut terbawa dalam air buangan agar benda-benda tersebut tidak mengganggu aliran dalam saluran dan membahayakan atau merusak alat-alat, misalnya pompa, valve dan lainnya, serta mengganggu proses pengolahan air buangan. Benda-benda padat dan kasar ini antara lain plastik, batang kayu kecil, logam dan sebagainya.
- b. Mencegah timbulnya kerusakan atau penyumbatan (clogging) pada saluran dan pompa

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

- a) Kerusakan pada alat pengolahan,
- b) Mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
- c) Kontaminasi pada aliran air.



Gambar 2.4 Tipe-tipe screen dalam pengolahan air limbah

(Sumber : Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition*)

Secara garis besar menurut (Metcalf and Eddy, 2003), jenis screen dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan perbedaan bukaan atau jarak antar bar atau batang screen, yaitu :

- a. Saringan kasar (*coarse screen*)

Coarse screen dapat menghilangkan benda – benda berukuran besar dan mempunyai ukuran celah 6 – 150 mm. Saringan kasar atau

coarse screens dibedakan menjadi pembersihan mekanik dan manual (Liu and Liptak, 1999).



Gambar 2.5 Coarse Screen

(Sumber: https://www.huber.de/fileadmin/processed/4/4/csm_skizze_trashmax_01_8661e43fb4.jpg)

Kriteria desain unit coarse screen pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Kriteria desain unit coarse screen

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanis	Unit	Manual	Mekanis
<u>Ukuran batang</u>						
Lebar	Inch	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	mm	5,0 – 15	5,0 – 15
Kedalaman	Inch	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	mm	25 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	Inch	1,5 – 2,0	0,3 – 0,6	mm	25 – 50	15 – 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 – 45	0 – 30	°	30 – 45	0 – 30
<u>Kecapatan</u>						
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	Inch	6	6 – 2,4	mm	150	150 – 600

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th edition*, New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

b. Saringan halus (*fine screen*).

Fine screen atau saringan halus mempunyai ukuran besar celah 1,5 – 6 mm. Saringan halus pada pengolahan pendahuluan biasanya digunakan dengan saringan kasar. Sedangkan pada pengolahan pertama saringan halus biasanya digunakan dengan pengendap pertama. Tipe-tipe saringan halus yang digunakan untuk pengolahan

pendahuluan adalah ayakan kawat (Static Wedge Wire), drum putar (Rotary Drum), atau seperti anak tangga (Step Type). Penyaring halus (Fine Screen) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) karena Screen tipe ini dapat meremoval Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Total Suspended Solid (TSS).



Gambar 2.6 Fine Screen

(Sumber: <https://filtrationchina.com/blog/media/posts/119/Fine-Screen-3.jpg>)

Sedangkan menurut cara pembersihannya ada yang secara manual (biasanya untuk coarse screen) dan ada yang secara mekanis (untuk fine screen)

Tabel 2.3 Persen Removal Fine Screen

Jenis Screen	Luas Permukaan		Persen Removal	
	inch	mm	BOD (%)	TSS (%)
<i>Fixed Parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5-30
Rotary Drum	0,01	0,25	25-50	25-45

(Sumber: Metchalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition*)

Tabel 2.4 Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran in mm			
Miring (diarah)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kasar yang terbuat dari stainless-steel	Pencabutan primer
Datar (horizontal)	Kasar	0,1-0,2	1,5-5	karat yang terbuat dari stainless-steel	Pencabutan pendahuluan
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	karat yang terbuat dari stainless-steel	Pencabutan primer
	Halus		6-35µm	stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal reciprocating	Sedang	0,06-0,17	1,6-4	Batang stainless-steel	Cabutan dengan saluran air bagian
Tangential	Halus	0,0475	1200 µm	Jals-jals yang terbuat dari stainless-steel	Cabutan dengan saluran pembuangan

(Sumber: Metchalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition)

1. Rumus yang digunakan

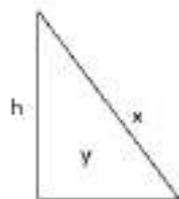
- Tinggi bar screen

$$H = H \text{ saluran} + \text{freeboard (15\%)} \quad (2.10)$$

Keterangan :

H saluran = tinggi saluran (m)

- Dimensi bar screen



$$\theta = 75^\circ$$

- Panjang kisi (x)

$$X = \frac{y}{\sin \alpha} \quad (2.11)$$

Keterangan :

$\sin \alpha$ = Kemiringan kisi/screen

y = Tinggi screen = Kedalaman total saluran pembawa (m)

x = Panjang kisi (m)

- Jumlah kisi/batang

$$W_s = n \times d + (n + 1)r \quad (2.12)$$

Keterangan :

W_s = Lebar saluran (m)

N = Jumlah kisi

D = Lebar kisi (m)

r = Jarak antar kisi (m)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - n \times d \quad (2.13)$$

Keterangan :

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar bukaan kisi = Lebar saluran pembawa (m)

n = Jumlah kisi

d = Lebar kisi (m)

- Kecepatan yang melalui screen

$$V_i = \frac{Q}{W_c \times h} \quad (2.14)$$

Keterangan :

V_i = Kecepatan yang melalui screen (m/s)

Q = Debit limbah (m³ /dtk)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h = Tinggi bar screen (m)

- Headloss pada bar screen

➤ Saat non clogging

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{V_i^2 - v^2}{2 \times g} \right) \quad (2.15)$$

➤ Saat clogging

$$V_{i \text{ clogging}} = 2 V_i$$

$$H_f = \frac{1}{c} \times \left(\frac{V_{i c}^2 - v^2}{2 \times g} \right) \quad (2.16)$$

Keterangan :

H_f = Headloss (m)

- C = Koefisien saat non clogging
 C_c = Koefisien saat clogging (0,6 untuk clogged screen)
 V_{ic} = Kecepatan saat clogging (m/s)
 V_i = Kecepatan yang melalui screen (m/s)
 v = Kecepatan perencanaan (m/s)

(Sumber : Metchalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316*)

II.2.1.3 Bak Penampung

Bak Penampung merupakan sebuah bak yang digunakan untuk menampung air limbah dari saluran pembawa. Pada unit ini digunakan sebagai penyeimbang, sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah ketika air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan.



Gambar 2.7 Bak Penampung

(Sumber: <https://tanindo.net/wp-content/uploads/2016/12/IPAL-Instalasi-Pengolahan-Air-Limbah-1.jpg>)

1. Rumus yang digunakan

- Volume bak penampung (A_{surface})

$$V = Q \times t_d \quad (2.17)$$

Keterangan:

V = volume bak penampung (m^3)

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

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

- Dimensi bak penampung

$$V = L \times B \times H \quad (2.18)$$

Keterangan:

V = Volume bak penampung (m^3)

L = Panjang bak penampung (m)

B = Lebar bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

- Ketinggian total bak penampung (A_{cross})

$$H_{total} = H + (10\% - 30\% \times H) \quad (2.19)$$

Keterangan:

H_{total} = Kedalaman bak (m)

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

Freeboard = 5-30%

II.2.2 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. Adapun unit pengolahannya antara lain:

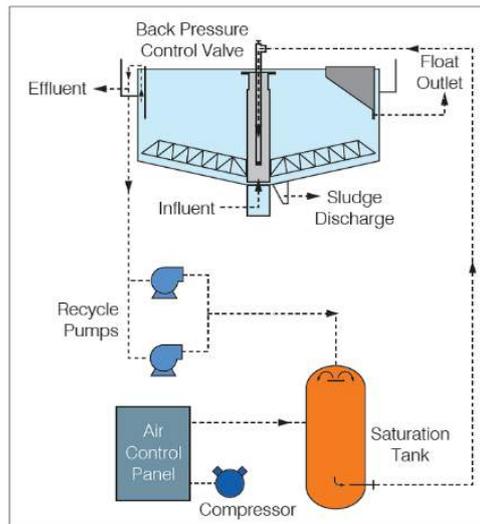
II.2.2.1 *Dissolved Air Flotation (DAF)*

Dissolved air flotation (DAF) merupakan metode untuk memisahkan zat atau bahan pencemar seperti total suspended solid/padatan tersuspensi (TSS), biochemical oxygen demand (BOD_5), dan minyak atau lemak (oils & greases) dari air dengan menggunakan metode bantuan gelembung udara. Dengan kata lain, DAF merupakan suatu proses penyisihan minyak dan lemak yang melibatkan proses pemecahan emulsi di dalamnya. Dalam prosesnya, emulsi pada minyak dan lemak pada limbah dapat dipecahkan menggunakan berbagai cara, di antaranya proses pemanasan, destilasi, pelepasan gelembung udara, pembubuhan senyawa kimia, sentrifugasi, hingga filtrasi. Diantara proses tersebut, proses ultrafiltrasi merupakan proses yang paling efektif

dalam memisahkan minyak dan asam lemak dari limbah industri yang diolah. Dalam sistem ini, udara larut dalam cairan di bawah tekanan beberapa atmosfer sampai jenuh, kemudian dilepaskan ke tekanan atmosfer.

Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan cara mengalirkan udara ke dalam campuran air limbah dari dasar wadah. Udara tersebut dialirkan melalui pipa atau selang dan dikeluarkan pada tekanan atmosfer sehingga udara tersebut keluar berupa gelembung-gelembung udara mikroskopis yang berukuran kecil. Akibatnya jenis udara yang jauh lebih kecil daripada air, gelembung udara tersebut secara otomatis akan naik ke permukaan air. Bersamaan dengan itu, partikel-partikel minyak yang berukuran halus ikut menempel pada gelembung udara tersebut. Akibat pergerakan udara ke permukaan air, butiran minyak yang halus pun ikut naik ke permukaan. Dengan demikian, proses penambahan gelembung udara ke dalam air limbah yang tercampur dengan partikel minyak yang terdispersi turut mempercepat proses naiknya minyak ke lapisan atas air. Dengan demikian, metode DAF ini mempercepat proses pemisahan minyak dan air.

Metode DAF telah digunakan secara luas untuk proses pengolahan air limbah yang dihasilkan dari industri pemurnian minyak, petrokimia, pabrik kimia, pengolahan air umum, dan lain-lain. Instalasi DAF terdiri dari beberapa buah alat, yaitu pompa, tangki air, tangki pencampur udara dan air (saturation tank), pipa penyalur udara, pipa penyalur air, saluran pemasukan air, compressor, dan saluran pengeluaran air, saluran pembuangan padatan, panel pengaturaliran udara (air control panel), dan lain-lain. Prosesnya berlangsung sebagaimana gambar berikut.



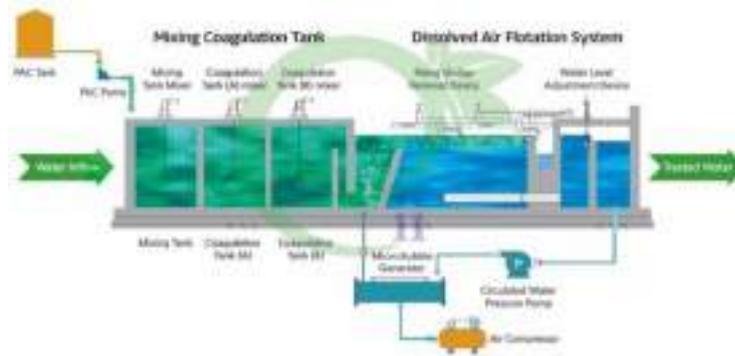
Gambar 2.8 Skema Kinerja DAF

(Sumber: https://1.bp.blogspot.com/-YQ_H5BYczmQ/WHszDEp1m3I/AAAAAAAAABNM/uOqVgqt2XLkCvOf6PuBhGcov-REUIKs_QCPcB/s1600/prinsip%2Bkerja%2BDAF.png)

Unit pengolahan DAF menggunakan konsep flotasi dan koagulasi-flokulasi dalam sistem pengolahan sebagai berikut :

a) Flotasi

Proses flotasi adalah proses pemisahan material berharga dari pengotornya dengan menggunakan sifat permukaan hidrophobik dan hidrophilik material. Pada proses flotasi umumnya gelembung udara dilepas pada bagian bawah sel flotasi dan partikel dilepas pada bagian atas sel flotasi. Gaya gravitasi dan gaya apung menyebabkan partikel bergerak ke bawah dan gelembung udara bergerak naik sehingga pada suatu tempat terjadi interaksi antara gelembung dengan partikel. Hasil interaksi ini menyebabkan partikel yang memiliki sifat hidrophobik menempel pada gelembung udara, membentuk agregat partikel gelembung dan terbawa ke bagian atas sel flotasi terpisah dari partikel pengotornya yang tertinggal di air karena memiliki sifat hidrophilik.



Gambar 2.9 Proses Flotasi

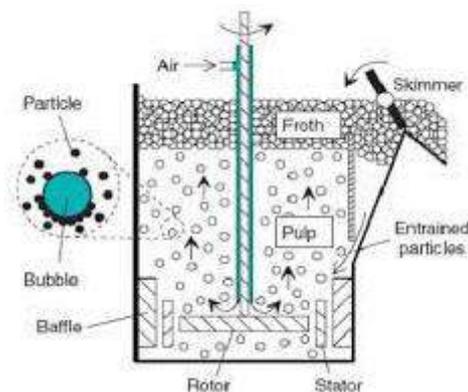
(Sumber:

<https://www.pakaripal.com/images/2021/06/07/watermark-daf-dissolved-air-flotation-flotasi-pengapungan-1.jpg>)

Pemisahan partikel dari cairan flotasi didasarkan pada perbedaan berat jenis partikel dengan bantuan gelembung udara. Proses flotasi dibagi menjadi 3 jenis, antara lain:

- Air Flotation

Udara akan masuk ke dalam fluida dengan menggunakan mekanisme rotor-disperser. Rotor yang terendam dalam fluida akan mendorong udara menuju bukaan disperser sehingga udara bercampur dengan air sehingga partikel yang mengapung disisihkan. Sistem ini memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan area yang luas dan lebih efektif dalam menyisihkan partikel minyak.



Gambar 2.10 Proses Air Flotation

(Sumber: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRdTh2-U3t4St3p9-e5cyjAB5AMGEL--GUzqdHraoGSs9btwNJ6wMaHWvsDiul6WWZjyqM&usqp=CAU>)

- Dissolved Air Flotation (DAF)

Melakukan pengapungan dengan melarutkan udara ke dalam fluida dengan tekanan yang tinggi kemudian dilepaskan dalam tekanan atmosfer. Penggabungan dari gelembung-gelembung gas halus dengan suspended solid atau oil mengakibatkan penurunan gravitasi sehingga menambah daya pengapungan.



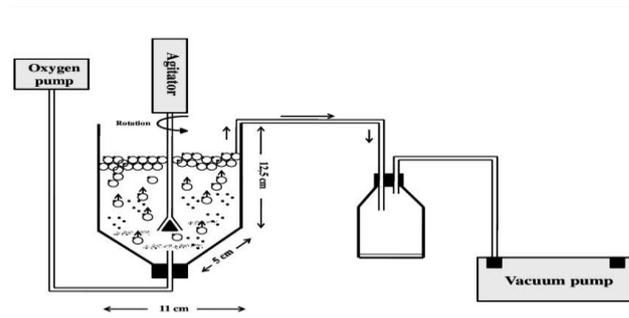
Gambar 2.11 Unit DAF

(Sumber: <https://www.wastewaterymachinery.com/id/Uploads/pro/Boiler-Waste-Treatment-Dissolved-air-flotation.184.3-1.jpgU>)

- Vacum Flotation

Pada proses flotasi vakum, Limbah cair diaerasi dengan menggunakan diffuser udara hingga jenuh sehingga akan terbentuk gelembung udara yang akan lolos ke atmosfer dengan mengangkat partikel-partikel ke atas. Tujuan dari aerasi ini adalah untuk menghilangkan gelembung-gelembung yang berukuran besar. Setelah itu air limbah yang telah diaerasi tersebut dimasukkan ke dalam tangki vakum dengan tekanan statis sekitar 9inHg dan didiamkan sejenak agar gelembungnya naik ke permukaan sehingga terjadi Flotasi. Pada tugas

perancangan ini kelompok kami menggunakan jenis Dissolved Air Flotation (DAF).



Gambar 2.12 Vacum Flotation

(Sumber:

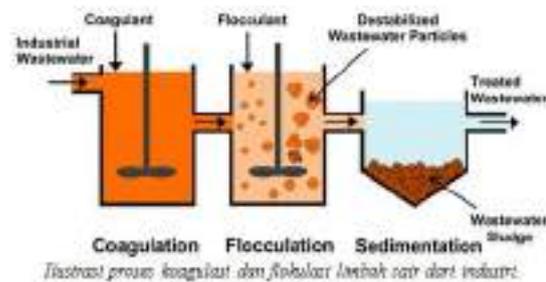
<https://www.researchgate.net/publication/309911393/figure/fig2/AS:427339696873474@1478897131690/Process-and-instrumentation-diagram-of-the-flotation-unit.png>)

b) Koagulasi-Flokulasi

Kogulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi.

Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel- partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan

partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi (Said, 2017).



Gambar 2.13 Unit Koagulasi Flokulasi

(Sumber: <https://iribb.org/wp-content/uploads/2016/06/140616-1.jpg>)

Proses koagulasi merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (flash mixing) bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan ferric chloride karena proses hidrolisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses flash mixing. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, aluminium sulfat, feri sulfat, dan ferro sulfat (Syaiful, Jn, & Andriawan, 2014).

Menurut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016) terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi yakni sebagai berikut:

- Derajat Keasaman (pH)

Proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada pada daerah pH yang optimum. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda satu sama lainnya.

- Suhu air

Suhu air yang rendah berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi sehingga besarnya daerah pH yang optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

- Jenis Koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk.

- Kecepatan Pengadukan

Proses pengadukan bertujuan untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam pengadukan terdapat hal yang perlu diperhatikan yakni pengadukan harus benar-benar merata, sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel koloid atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan terlalu lambat mengakibatkan flok terbantu dengan lambat namun sebaliknya apabila pengadukan terlalu cepat berakibat flok yang tekah terbentuk akan pecah.

- Kadar Ion

Kadar ion terlarut dalam air terhadap proses koagulasi akan berpengaruh pada anion lebih besar daripada kation. Sehingga ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

- Tingkat Kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destibilisasi akan sukar terjadi. Begitupun sebaliknya jika tingkat kekeruhan air tinggi maka proses destabilisasi

akan berlangsung cepat. Namun jika kondisi tersebut menggunakan dosis koagulan yang rendah maka pembentukan flok kurang efektif.

- Dosis Koagulan

Dosis koagulan yang dibubuhkan pada proses koagulasi akan sangat berpengaruh terhadap pembentukan inti flok. Jika pembubuhan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan inti flok akan berjalan dengan baik.

- Alkalinitas

Alkalinitas dalam air ditentukan oleh kadar asam atau basa yang terjadi dalam air (Tjokrokusumo, 1995). Alkalinitas dalam air dapat membentuk flok dengan menghasil ion hidroksida pada reaksi hidrolisa koagulan.

Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Pada pengolahan DAF terdapat bak pembubuh untuk menambahkan koagulan pada bak DAF.

1. Rumus yang digunakan pada bak pembubuhan

- Kebutuhan Koagulan

$$\text{Kebutuhan koagulan} = \text{dosis koagulan} \times Q \quad (2.20)$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

Dosis koagulan = dosis optimum koagulan (mg/L)

Tabel 2.5 Jenis Koagulan dalam Proses Pengolahan Air

Jenis Koagulan	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat, Alum Sulfat, Alum, Salum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ x=14, 16, 18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium aluminat	NaAlO ₂ atau Na ₂ Al ₂ O ₄	Bubuk	Basa	6,0-7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	Al _n (OH) _m Cl _{3n-m}	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8
Ferri sulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·9H ₂ O	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri Klorida	FeCl ₃ ·6H ₂ O	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	FeSO ₄ ·7H ₂ O	Kristal halus	Asam	>8,5

(Sumber: Qasim, Syed R. 1985. *Wastewater Treatment Plant: Planning, Design, and Operation*, page 161. New York: CBS College Publishing)

- Volume Tangki Koagulan

$$V = \frac{\text{Kebutuhan koagulan}}{p \text{ koagulan}} \times \text{periode pelarutan} \quad (2.21)$$

Keterangan:

Kebutuhan koagulan = jumlah koagulan tiap hari (kg/hari)

p koagulan = massa jenis koagulan (kg/m³)

Pelarutan = lama pelarutan (hari)

- Kedalaman air di dalam tangki koagulan

$$V = V_{\text{koagulan}} + V_{\text{air pelarut}} \quad (2.22)$$

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \quad (2.23)$$

Keterangan:

V = Volume tangki koagulasi (m³)

Vkoagulan = Volume koagulan (m³)

Vair pelarut = Volume air pelarut (m³)

td = Waktu detensi (s)

D = Diameter tangki pembubuh (m)

H = Kedalaman air dalam tangki pembubuh (m)

- Suplai tenaga ke air

$$P = G^2 \times \mu \times V \quad (2.24)$$

Keterangan:

P = suplai tenaga ke air (watt)

G = gradien kecepatan (L/s)

μ = viskositas absolut (N.s/ m²)

V = volume total tangki pembubuh (m³)

Tabel 2.6 Nilai gradien kecepatan dan waktu pengadukan

Waktu pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 \geq	700

(Sumber: Reynolds, 1996, page 184)

- Diameter Impeller

$$Di = \left(\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho} \right)^{1/5} \quad (2.25)$$

Keterangan:

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

P = suplai tenaga ke air (watt)

K_T = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n = kecepatan putaran (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Tabel 2.7 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi
<i>Paddle</i>	20-150 rpm	Diameter = 50-80% Lebar Bak Lebar = 0,1-0,167 Diameter Paddle
<i>Turbine</i>	10-150 rpm	Diameter = 30-50% Lebar Bak
<i>Propeller</i>	400-1750 rpm	Diameter = Max. 45 cm

(Sumber: Reynolds, 1996, page 184 & 185)

Tabel 2.8 Konstanta K_T dan K_L untuk jenis-jenis impeller

Jenis Impeller	K_L	K_T
Propeller, pitch of 1,3 blades	41	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65	5,75
Turbine, 6 curved blades	70	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43	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	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$	71	3,82

(Sumber : Reynold dan Richards dalam Masduqi, 2012)

- Cek Bilangan Reynold

$$NRe = \frac{(D_2)^2 \times n \times p}{\mu} \quad (2.26)$$

Keterangan:

NRe = bilangan Reynold

Di = diameter impeller/pengaduk (m)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

μ = viskositas absolut (N.s/m^2)

(Sumber: Reynold, 1996)

2. Rumus yang digunakan pada bak flotasi

- Tekanan Udara (P)

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \times sa \times ((f \times P) - 1)}{Sa} \quad (2.27)$$

Keterangan:

P = Tekanan Udara (atm)

sa = Kelarutan udara (ml/liter)

f = Fraksi Kelarutan Udara

Sa = Influent Minyak & Lemak (mg/L)

A/S = Rasio Udara per Padatan (ml/mg)

- Dimensi bak flotasi

$$V = L \times B \times H \quad (2.28)$$

Keterangan :

V = Volume bak flotasi (m^3)

L = Panjang bak (m)

B = Lebar bak (m)

H = Kedalaman air pada bak (m)

- Volume bak flotasi

$$V = (Q \text{ limbah} + Q \text{ bak pembubuh}) \times td \quad (2.29)$$

Keterangan:

V = Volume bak flotasi (m^3)

Q limbah = Debit limbah masuk (m^3/detik)

Q pembubuh = Debit pembubuh (m^3/detik)

td = waktu detensi (detik)

- Kedalaman bak flotasi

$$H \text{ total} = H + \text{Freeboard} \quad (2.30)$$

Keterangan:

H total = kedalaman bak (m)

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

Freeboard = 5% - 30%

- Surface Loading Rate (SLR)

$$SLR = \frac{Q}{A} \quad (2.31)$$

Keterangan:

SLR = Surface Loading Rate

Q = Debit Air Limbah (m³/detik)

A = Luas permukaan (m²)

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas Keliling Basah}}{\text{Keliling Penampang Basah}} \quad (2.32)$$

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

Keterangan:

R = Jari – jari Hidrolis (m)

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

B = Lebar bak penampung (m)

3. Rumus yang digunakan pada Zona lumpur/Sludge

- TSS tersisihkan

$$TSS \text{ tersisihkan} = TSS_{\text{influent}} \times \% \text{removal} \quad (2.33)$$

- TSS effluent

$$TSS = TSS_{\text{influent}} - TSS \text{ tersisihkan} \quad (2.34)$$

- Massa TSS yang tersisihkan

$$\text{Massa tersisihkan} = TSS_{\text{effluent}} \times Q \quad (2.35)$$

Keterangan:

Q = Debit air limbah (m³/s)

- Volume TSS tersisihkan

$$V_{TSS} = \frac{\text{massa tersisihkan}}{\rho_{\text{solid}}} \quad (2.36)$$

Keterangan:

ρ = Massa jenis solid

- Massa air tersisihkan

$$\text{Massa air} = \frac{\text{persentase juml. air}}{\text{persentase juml. sludge}} \times \text{massa tersisihkan} \quad (2.37)$$

- Volume air

$$V_{\text{air}} = \frac{\text{massa air}}{\rho_{\text{air}}} \quad (2.38)$$

Keterangan:

Massa air = Massa air tersisihkan (kg/hari)

ρ air = Massa jenis air

- Volume sludge

$$V_{\text{sludge}} = V_{TSS} + V_{\text{air}} \quad (2.39)$$

Keterangan:

V_{TSS} = volume TSS tersisihkan

V_{air} = volume air

- Debit lumpur

$$Q_{\text{lumpur}} = \frac{V_{\text{sludge}}}{\text{Waktu pengurusan}} \quad (2.40)$$

Keterangan:

Q_{lumpur} = debit lumpur

V_{sludge} = volume sludge/lumpur

- Berat sludge

$$\text{Berat sludge} = V_{\text{sludge}} \times \rho_{\text{sludge}} \quad (2.41)$$

Keterangan:

V_{sludge} = Volume lumpur/sludge (m³/hari)

ρ_{sludge} = Massa jenis sludge (kg/m³)

- Dimensi zona lumpur

$$V_{limas\ terpuncung} = \frac{1}{3} \times H \times (A + \sqrt{AA'} + A') \quad (2.42)$$

Keterangan:

H = Kedalaman zona lumpur (m)

A = Luas permukaan atas zona lumpur (m²)

A' = Luas permukaan bawah zona lumpur (m²)

4. Rumus yang digunakan untuk Kebutuhan Udara

- Kebutuhan teoritis

$$Keb. udara teoritis = \text{juml TSS tersisihkan} \quad (2.43)$$

- Kebutuhan O₂ teoritis

$$Keb. O_2 teoritis = \text{keb. udara} \times f \quad (2.44)$$

Keterangan:

Kebutuhan O₂ Teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

f = faktor desain

- Jumlah kebutuhan O₂ teoritis

$$\begin{aligned} & \sum \text{keb. } O_2 \text{ teoritis} \\ & = \frac{\text{keb. } O_2 \text{ teoritis}}{\text{berat standar udara} \times O_2 \text{ dalam udara}} \end{aligned} \quad (2.45)$$

Keterangan:

Kebutuhan O₂ teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

Berat standar udara = Berat standar udara (kg/m³)

O₂ dalam udara = Oksigen dalam udara (%)

- Kebutuhan O₂ aktual

$$Keb. O_2 \text{ aktual} = \frac{\text{juml. keb. } O_2 \text{ teoritis}}{\text{Efisiensi difuser}} \quad (2.46)$$

Keterangan:

Kebutuhan O₂ aktual = Kebutuhan oksigen actual (m³/menit)

Kebutuhan O₂ teoritis = Kebutuhan teoritis (kg/hari)

Efisiensi diffuser = Efisiensi pada diffuser (%)

II.2.2.2 Bak Ekualisasi



Gambar 2.14 Bak Ekualisasi

(Sumber: https://iwanhtn.files.wordpress.com/2012/10/img_0997.jpg)

Fungsi bak ekualisasi adalah untuk mengendapkan butiran kasar dan merupakan unit penyeimbang. Dalam prosesnya, bak ekualisasi sering digunakan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pengolahan air buangan yang terjadi akibat adanya fluktuasi konsentrasi beban pencemar. Bak ekualisasi harus berukuran cukup untuk mengurangi fluktuasi limbah yang disebabkan oleh perubahan program rencana produksi untuk mengurangi konsentrasi secara periodik pada bak penampung atau saluran (Metcalf & Eddy, 2003).

Keuntungan proses ekualisasi untuk mengolah limbah adalah:

- a. Dapat mengurangi fluktuasi bahan organik yang diolah untuk mencegah shock loading pada proses biologis.
- b. Mengontrol pH atau meminimumkan kebutuhan bahan kimia
- c. Meminimumkan aliran pada proses pengolahan fisik – kimia dan mengetahui rata-rata kebutuhan bahan kimia.
- d. Memberikan kapasitas untuk mengontrol aliran limbah.
- e. Mencegah tingginya konsentrasi bahan berbahaya yang masuk pada proses pengolahan biologis.
- f. Pencampuran selalu diberikan pada proses ekualisasi dan untuk mencegah pengendapan zat padat pada dasar bak. Pada proses pencampuran, oksidasi dapat mengurangi bahan organik atau BOD (10- 20% tersisihkan) oleh udara dalam air limbah dari proses

pencampuran dan aerasi. Untuk metode yang digunakan pada proses pencampuran ialah distribution of inlet flow and baffle, turbine mixing, diffused air aeration, dan mechanical aeration (Reynold, 1996).

Bak ekualisasi di desain untuk menyamakan aliran. Debit atau aliran serta konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan dalam bak ekualisasi, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum pada pengolahan selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

Cara kerja dari unit ini adalah saat air limbah sudah dialirkan melalui bak sedimentasi, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak ekualisasi agar debitnya konstan.

1. Rumus yang digunakan pada bak ekualisasi

- Volume bak ekualisasi

$$V = Q \times td \quad (2.47)$$

Keterangan:

V = volume bak ekualisasi (m³)

Q = debit air limbah (m³/detik)

td = waktu detensi (detik)

- Kebutuhan oksigen

$$\text{Keb. DO} = \text{DO air buangan} - \text{DO minimum} \quad (2.48)$$

Keterangan:

Keb.DO = kebutuhan oksigen terlarut dalam air (mg/L)

DO air buangan = kadar minim oksigen terlarut air (mg/L)

DO minim = kadar oksigen terlarut air limbah (mg/L)

- Dimensi bak ekualisasi

$$V = L \times B \times H \quad (2.49)$$

Keterangan:

V = Volume bak penampung (m³)

L = Panjang (m)

B = Lebar (m)

H = kedalaman (m)

- Kedalaman total

$$H_{\text{total}} = H + \text{freeboard} \quad (2.50)$$

Keterangan:

H = Ketinggian Air dalam bak penampung (m)

Freeboard = 5% - 30%

II.2.3 Pengolahan Kedua (Secondary Treatment)

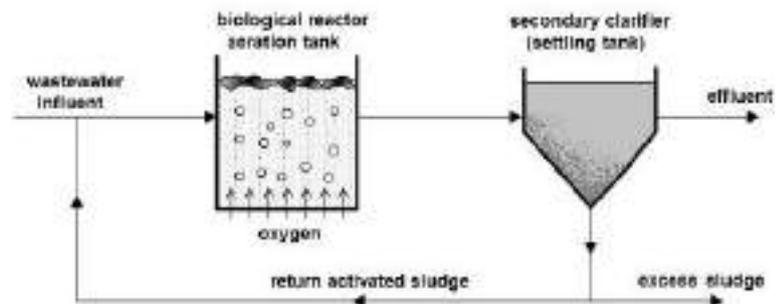
Menurut (Sugiharto, 1987), pada proses pengolahan tahap kedua ini, proses yang terjadi yaitu secara biologis. Pada proses ini bertujuan untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jumlah air limbah, tingkat kekotoran, jenis kekotoran, dan lain sebagainya.

II.2.3.1 Lumpur Aktif (*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). BOD dan COD dipakai sebagai ukuran atau satuan yang menyatakan konsentrasi organik karbon, dan selanjutnya disebut sebagai substrat. Adapun proses didalam *activated sludge*, yaitu:

- a) 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 Activated Sludge Konvensional
(Sumber:

<https://www.researchgate.net/publication/309217252/figure/fig1/AS:669024199389188@1536519207445/The-basic-principle-of-Activated-Sludge-Process.ppm>)

➤ Tangki Aerasi

Pada saat oksidasi aerobik material organik dilakukan dalam tangki ini, Efluent pertama masuk dan tercampur dengan Lumpur Aktif Balik (Return Activated Sludge=RAS) atau disingkat LAB membentuk lumpur campuran (mixed liquor), yang mengandung padatan tersuspensi sekitar 1.500 - 2.500 mg/l. Aerasi dilakukan secara mekanik. Karakteristik proses lumpur aktif adalah adanya daur ulang dari biomassa. Keadaan ini membuat waktu tinggal sel (biomassa) menjadi lebih lama dibanding waktu tinggal hidrauliknya (Sterritt dan Lester, 1988). Keadaan ini membuat sejumlah besar mikroorganisme mengoksidasi senyawa organik secara singkat. Waktu tinggal di tangki aerasi berkisar 4 - 8 jam.

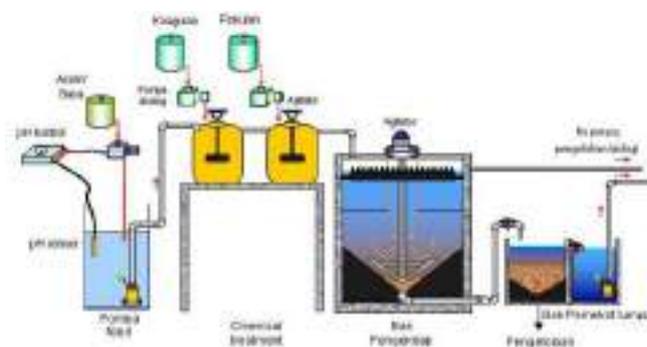


Gambar 2. 16 Tangki Aerasi

(Sumber: <https://effo-consulting.com/wp-content/uploads/2020/08/POPAL.jpg>)

➤ Tangki Sedimentasi

Tangki ini digunakan untuk sedimentasi flok mikroba (lumpur) yang dihasilkan selama fase oksidasi dalam tangki aerasi. Seperti disebutkan diawal bahwa sebahagian dari lumpur dalam tangki penjernih didaur ulang kembali dalam bentuk LAB kedalam tangki aerasi dan sisanya dibuang untuk menjaga rasio yang tepat antara makanan dan mikroorganisme (F/M Ratio).



Gambar 2.17 Tangki Sedimentasi

(Sumber: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR7mlMAUlmwgIs_WXjEBBWBf1tN7w-ia1lhFNTpZbMGxKGVk93rfdljGbhmfJhbwNFHj9Y&usqp=CAU)

Parameter yang umum digunakan dalam lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985; Verstraete dan van Vaerenbergh, 1986) adalah sebagai berikut:

- a. Mixed-liquor suspended solids (MLSS) Isi tangki aerasi dalam sistem lumpur aktif disebut sebagai mixed liquor yang diterjemahkan sebagai lumpur campuran. MLSS merupakan jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk didalamnya adalah mikroorganisma. MLSS ditentukan 25 dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter

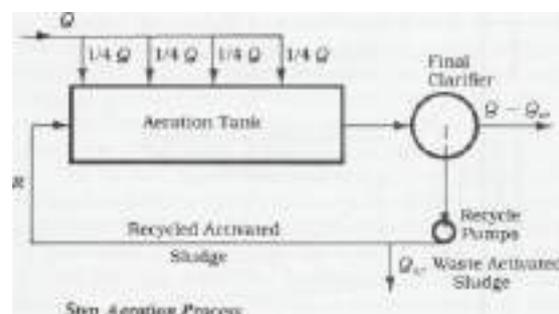
dikeringkan pada temperatur 1050C, dan berat padatan dalam contoh ditimbang.

- b. Mixed-liquor volatile suspended solids (MLVSS) Porsi material organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence, 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel filter yang telah kering pada 600 - 6500°C.
- c. Food to microorganism ratio (F/M Ratio) Parameter ini merupakan indikasi beban organik yang masuk kedalam sistem lumpur aktif dan diwakili nilainya dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari (Curds dan Hawkes, 1983; Nathanson, 1986).

b) Non Konvensional

➤ Step Aeration

- Termasuk type plug flow dengan perbandingan F/M atau subtrat dan mikroorganisme yang menurun menuju outlet.
- Pada inlet air buangan akan masuk melalui 3 – 4 titik tangki aerasi yang bertujuan menetralkan rasio subtrat dan mikroorganisme dalam mengurangi tingginya kebutuhan oksigen dititik yang paling awal.
- Keuntungan dari step aeration ialah memiliki waktu detensi yang lebih pendek.

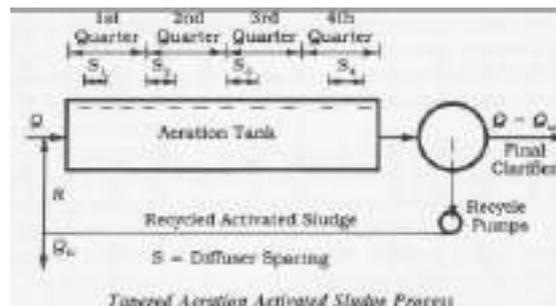


Gambar 2.18 Activated Sludge Step Aeration

(Sumber: <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRvK5awaSBDqR3EU5Oep6IeG4YBuUuH1dYLfhGxAmmDUhVi47SX>)

➤ Tapered Aeration

- Termasuk sama dengan step aerasi, namun pada tapered aerasi ini memiliki injeksi udara titik awal yang lebih tinggi.



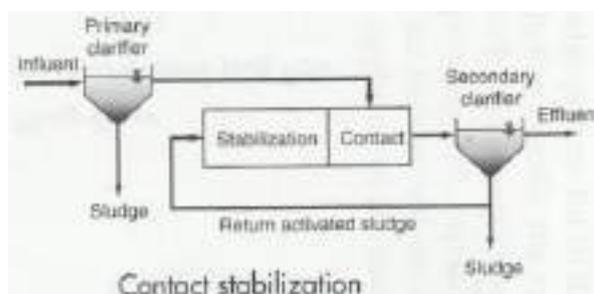
Gambar 2.19 Activated Sludge Tapered Aeration

(Sumber: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRMYC_X3lqDJbCgpNs-s_RET34Wzrv0p7ZStyZYZZM6vV2Q7B1AL1RrA7_ovIEh_uY-b_w&usqp=CAU)

➤ Contact Stabilization

Pada sistem ini terdapat 2 tangki, yaitu:

- Contact tank, berfungsi untuk mengabsorpsi bahan organik agar dapat memproses lumpur aktif.
- Reaeration tank, berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik yang telah di adsorbs (proses stabilisasi).



Gambar 2.20 Activated Sludge Contact Stabilization

(Sumber: https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTd0UHufp2nPJ0qsiTPnFEkAfMkKkOTV2mV-w_btw1YlMcdI_f)

1. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini

- Partikulat BOD Effluent

$$BOD_{ss} = BOD_{eff} \times \left(\frac{MLVSS}{MLSS} \right) \times FB \quad (2.51)$$

$$BOD_{terlarut} = BOD_{effluent} - BOD_{ss} \quad (2.52)$$

Keterangan:

VSS/SS = ratio perbandingan

VSS dan SS FB = Fraksi biodegradable VSS

(Sumber: Marcos Von, *Activ. Sludge and ABR*, Page 29)

- Efisiensi sistem dalam penyisihan BOD

$$E\% = \frac{BOD_{influent} - BOD_{terlarut}}{BOD_{influent}} \quad (2.53)$$

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 30)

- Debit resirkulasi

$$Q_r = R \times Q_o \quad (2.54)$$

Keterangan:

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

Q_o = Debit air limbah awal ($m^3/detik$)

R = rasio resirkulasi

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 36)

- Debit total bioreactor

$$Q_{tot} = Q_o + Q_r \quad (2.55)$$

Keterangan:

Q_{tot} = Debit total ($m^3/detik$)

Q_r = Debit Resirkulasi ($m^3/detik$)

Q_o = Debit air limbah awal ($m^3/detik$)

- Konsentrasi BOD dalam bioreaktor (S_a)

$$S_a = \frac{(S_o \times Q_o) + (S_r \times Q_r)}{(Q_o + Q_r)} \quad (2.56)$$

Keterangan:

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_r = konsentrasi BOD resirkulasi (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_r = Debit Resirkulasi ($m^3/detik$)

Q_o = Debit air limbah awal ($m^3/detik$)

- Volume bioreactor

$$V = \frac{Y \times \theta_c \times Q_a \times (S_o - S_a)}{X_a \times (1 + K_d \times F_b \times \theta_c)} \quad (2.57)$$

Keterangan:

V = volume bioreactor

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD5 removed)

θ_c = umur lumpur (hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

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

X_a = MLVSS (mg/L)

K_d = Endogenous Respiration Coefficient (g VSS/g VSS.d)

F_b = Biodegradable fraction of VSS

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

- Kedalaman bioreactor

$$H_{total} = H + f_b \quad (2.58)$$

Keterangan:

H_{total} = kedalaman total bioreaktor (m)

H = kedalaman bioreaktor (m)

f_b = freeboard (5% -30% $\times h$)

- F/M rasio

$$F/M = \frac{S_a}{t_d \times X_a} \quad (2.59)$$

Keterangan:

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

X_a = MLVSS (mg/L)

t_d = waktu tinggal hidrolis (jam)

- Konsentrasi resirkulasi lumpur

$$X_r = \frac{X_a(Q_o + Q_r)}{Q_r} \quad (2.60)$$

Keterangan:

X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

Q_r = Debit Resirkulasi (m³/detik)

Q_o = Debit air limbah awal (m³/detik)

X_a = MLVSS (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 35)

- Produksi lumpur tiap hari

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Fb + Kd + \theta c} \quad (2.61)$$

$$S_r = Q_a \times (S_o - S_a) \quad (2.62)$$

$$P_x = \frac{P_{xv}}{VSS/SS} \quad (2.63)$$

Keterangan:

P_x = produksi lumpur (kg/hari)

Y_{obs} = Koefisien observed yield

Y = Yield Coefficient (g VSS / g BOD₅ removed)

θc = umur lumpur (hari)

K_d = Endogenous Respiration Coefficient (gVSS/g VSS.d)

Fb = Biodegradable fraction of VSS

S_r = penyisihan beban BOD (kg/hari)

S_a = konsentrasi BOD dalam reaktor (mg/L)

S_o = konsentrasi BOD awal (mg/L)

Q_a = Debit air limbah total (m³/detik)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 39)

- Debit lumpur yang dibuang

$$Q_{exs} = \frac{V}{\theta_c} \quad (2.64)$$

$$Q_{exs} = \frac{V}{\theta_c} \times \frac{X}{X_r} \quad (2.65)$$

Keterangan:

V = volume bioreactor

θ_c = umur lumpur (hari)

X = MLSS (mg/L)

X_r = konsentrasi resirkulasi lumpur (mg/L)

(Sumber: Marcos Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactor*, page 43 - 44)

- Volume lumpur

$$V_{lumpur} = \frac{P_x}{\rho_{lumpur} \times C} \times \theta_c \quad (2.66)$$

Keterangan:

V_{lumpur} = volume lumpur (m³)

P_x = produksi lumpur (kg/hari)

ρ_{lumpur} = massa jenis lumpur (kg/m³)

C = konsentrasi lumpur

θ_c = umur lumpur (hari)

- Kebutuhan oksigen

$$Keb. teoritis = \frac{O_2}{S_r} \times S_r \quad (2.67)$$

$$Keb. O_2 teoritis = Keb. teoritis \times \text{factor desain} \quad (2.68)$$

$$Keb. O_2 teoritis = \frac{Keb. O_2 teoritis}{berat\ stand. udara \times \%O_2\ udara} \quad (2.69)$$

$$Keb. udara aktual = \frac{keb. udara teoritis}{efisiensi blower} \quad (2.70)$$

- Desain perpipaan diffuser

$$\text{Panjang pipa lateral (LL)} = \frac{W \text{ bioreaktor} - DM}{2} \quad (2.71)$$

$$LM = (n \times DL) + ((n + 1) \times rL) \quad (2.72)$$

$$LL = (n \times DO) + ((n + 1) \times rO) \quad (2.73)$$

Keterangan:

LM = panjang pipa manifold (m)

LL = panjang pipa lateral (m)

DM = Diameter pipa manifold (m)

DL = Diameter pipa lateral (m)

DO = diameter lubang orifice (m)

rL = jarak antar pipa lateral (m)

rO = jarak antar lubang orifice (m)

II.2.4 Pengolahan Ketiga (Tertiary Treatment)

II.2.4.1 Clarifier



Gambar 2.21 Clarifier

(Sumber: <https://opseyes.com/wp-content/uploads/2020/06/how-to-improve-your-clarifier-treatment-process-1.png>)

1. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan Zona Settling

- Debit bak Clarifier (Q)

$$MLSS \text{ dibuang} = \frac{P \times MLSS}{\text{berat jenis lumpur}} \quad (2.74)$$

$$Q_{in} \text{ Clarifier} = (Q + Q_r) - MLSS \text{ yang dibuang} \quad (2.75)$$

Keterangan:

Q_{in} Clarifier = debit masuk pada bak ($m^3/hari$)

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

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

- Luas Area Surface (AS)

$$AS = \frac{Q}{\text{Over flow rate}} \quad (2.76)$$

Keterangan:

AS = Luas area surface (m^2)

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

Over flow rate = Volume aliran per luas area ($m^3/m^2.hari$)

- Diameter Bak (D)

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.77)$$

Keterangan:

D = Diameter bak (m)

$\pi = 3,14$

- Diameter Inlet Wall (D')

$$D' = (15\% - 20\%) \times D \quad (2.78)$$

Keterangan:

D = Dimensi bak (m)

D' = Diameter inlet wall (m)

- Volume bak Clarifier

$$V = Q \times td \quad (2.79)$$

Keterangan:

V = Volume bak clarifier (m^3)

Q = Debit air limbah ($m^3/hari$)

td = Waktu detensi (detik)

- Kedalaman Zona Settling (H Settling)

$$H_{\text{settling}} = \frac{V}{A} \quad (2.80)$$

Keterangan:

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

V = Volume bak clarifier (m^3)

A = Luas area surface (m^2)

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

Keterangan:

H_{total} = Kedalaman total bak clarifier (m) (2.81)

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

fb = Freeboard ($5-30\% \times H$)

- Kecepatan pengendapan (V_s)

$$V_s = \frac{H_{\text{tot}}}{td} \quad (2.82)$$

Keterangan:

V_s = Kecepatan pengendapan partikel (m/s)

H_{tot} = Kedalaman zona settling (m)

td = Waktu detensi (detik)

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, page 368)

- Diameter partikel (D_p)

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times v}{g(sg - 1)}} \quad (2.83)$$

Keterangan:

D_p = Diameter partikel (m)

v_s = Kecepatan pengendapan (m/s)

v = Viskositas kinematis ($0,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

sg = Spesifik gravity

- Cek bilangan Reynold

$$NRe = \frac{\rho s \times Dp \times vs}{\mu} \quad (2.84)$$

Keterangan:

NRe = Bilangan Reynold

Dp = Diameter partikel (m)

Vs = Kecepatan pengendapan (m/s)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

s = Massa jenis partikel (kg/m³)

(Sumber: Reynolds, Tom D. and Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, page 224. Boston: PWS Publishing Company)

- Kecepatan horizontal (Vh)

$$Vh = \frac{Qin}{\pi \times D \times H} \quad (2.85)$$

Keterangan:

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)

Qin = Debit air limbah (m³/s)

D = Diameter bak clarifier (m)

H = Kedalaman bak (m)

- Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{r \times H}{r + (2 \times H)} \quad (2.86)$$

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

r = Jari-jari bak clarifier (m)

H = Kedalaman bak clarifier (m)

- Cek bilangan reynold

$$NRe = \frac{vh \times R}{\mu} \quad (2.87)$$

Keterangan:

Vh = Kecepatan horizontal (m/s)

R = Jari-jari hidrolis (m)

μ = Viskositas absolut (N.s/m²)

- Cek bilangan froude

$$Nfr = \frac{Vh}{\sqrt{g \times h}} \quad (2.88)$$

Keterangan:

Nfr = Bilangan froude

vh = Kecepatan horizontal (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Kedalaman bak (m)

- Cek penggerusan / Kecepatan scouring (Vsc)

$$Vsc = \sqrt{\frac{\sqrt{8k(Sg - 1) \times g \times Dp}}{\lambda}} \quad (2.89)$$

Keterangan:

λ = Faktor gesekan hidrolis

k = Konstanta kohesi partikel yang saling mengikat (0,06)

Dp = Diameter partikel (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Sg = Spesifik gravity

2. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan Zona Thickening

- MLVSS dalam clarifier

$$MLVSS_{AS} = 30\% \times MLVSS_{total} \quad (2.90)$$

$$MLVSS_{clarifier} = MLVSS_{total} - MLVSS_{AS} \quad (2.91)$$

Keterangan:

MLVSS_{AS} = MLVSS dari bioreaktor AS (mg/L)

MLVSS_{total} = MLVSS total dari bioreaktor AS (mg/L)

MLVSS_{clarifier} = MLVSS di dalam clarifier (mg/L)

- Massa solid total clarifier

$$M_{solid\ total} = MLVSS_{clarifier} \times V_{clarifier} \quad (2.92)$$

Keterangan :

$M_{solid\ total}$ = Massa solid total dalam clarifier (kg)

$MLVSS_{clarifier}$ = MLVSS di dalam clarifier (mg/L)

$V_{clarifier}$ = Volume clarifier (m^3)

- Kedalaman zona thickening

$$H = \frac{M_{solid\ total}}{X \times A} \quad (2.93)$$

Keterangan:

$M_{solid\ total}$ = massa solid total dalam clarifier (kg)

X = MLSS dari bioreaktor AS (mg/L)

A = Luas penampang clarifier (m^2)

3. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan Zona Sludge

- Total lumpur yang terkumpul

$$T_L = Px \times t \quad (2.94)$$

Keterangan:

T_L = Total lumpur yang terkumpul (kg)

Px = Lumpur yang dihasilkan dari bioreaktor AS (kg/hari)

T = Waktu pengurusan (hari)

- Total massa lumpur pada bak clarifier

$$T_{ML} = T_L + m_{solid\ total} \quad (2.95)$$

Keterangan:

T_{ML} = Total massa lumpur pada clarifier (kg)

T_L = Total lumpur yang terkumpul (kg)

$M_{solid\ total}$ = Massa solid total dalam clarifier (kg)

- Volume lumpur pada clarifier

$$V_L = \frac{T_{ML}}{P_S} \quad (2.96)$$

Keterangan:

V_L = Volume lumpur pada clarifier (m^3)

T_{ML} = Total massa lumpur pada clarifier (kg)

P_S = Massa jenis solid (kg/m^3)

- Debit lumpur

$$QL = \frac{VL}{\text{Waktu pengurasan}} \quad (2.97)$$

Keterangan:

VL = Volume lumpur pada bak per hari (m³/hari)

td = Lama waktu pengurasan (jam)

- Kedalaman ruang sludge

$$V_{\text{ruang lumpur}} = \frac{1}{3}H((A + B) + \sqrt{A \times B}) \quad (2.98)$$

Keterangan:

V = Volume ruang lumpur (m³)

H = Kedalaman ruang sludge (m)

A = Luas permukaan atas (m²)

B = Luas permukaan bawah (m²)

- Kedalaman total clarifier

$$H_{\text{tot}} = H_{\text{settling}} + H_{\text{thickening}} + H_{\text{sludge}} \quad (2.99)$$

Keterangan:

H_{tot} = Kedalaman total (m)

H_{settling} = Kedalaman zona settling (m)

H_{thickening} = Kedalaman zona thickening (m)

H_{sludge} = Kedalaman zona sludge (m)

4. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan Zona Outlet

- Panjang pelimpah

$$L = \pi \times D \text{ bak} \quad (2.100)$$

Keterangan:

L = Panjang pelimpah (m)

D = Diameter bak clarifier (m)

- Jumlah V notch setiap pelimpah (Weir)

$$n = \frac{\text{panjang pelimpah weir}}{\text{jarak antar Vnotch}} \quad (2.101)$$

Keterangan:

L_{weir} = Panjang pelimpah (m)

Rweir = Jarak antar weir (m)

(Sumber: Syed R. Qasim, *Wastewater Treatment and Reuse, Vol 1, Guang Zhu, page: 9-21 9-26, 459-460*)

- Debit air melalui V notch

$$Q_{vnotch} = \frac{Q_{in}}{n} \quad (2.102)$$

Keterangan:

Q_{vnotch} = Debit air melalui Vnotch (m^3/s)

Q_{in} = Debit air limbah (m^3/s)

n = Jumlah V notch

- Tinggi limpahan V notch

$$N_{re} = \frac{\rho \times D \times v_s}{\mu} \quad (2.103)$$

Keterangan:

N_{re} = Bilangan Reynold

D = Diameter bak (m)

v_s = Kecepatan pengendapan (m/s)

μ = Viskositas absolut ($N.s/m^2$)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

- Luas permukaan saluran limpahan

$$A = \frac{Q_{in}}{v} \quad (2.104)$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pelimpah (m^2)

Q_{in} = Debit yang masuk (m^3/s)

v = Kecepatan saluran pelimpah (m/s)

- Dimensi saluran pelimpah

$$A = B \times H \quad (2.105)$$

$$H = H + (H \times \text{freeboard}) \quad (2.106)$$

Keterangan:

A = Luas permukaan saluran pelimpah (m^2)

B = Lebar saluran pelimpah (m)

H = Tinggi pelimpah melalui Vnotch (m)

Freeboard = (15-20%) kedalaman

II.2.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil 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 bertanggung jawab untuk 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.

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur. Berdasarkan hal tersebut, salah satu jenis pengolahan yang dapat digunakan yaitu belt-filter press, yang selengkapnya akan dijelaskan dibawah ini:

II.2.5.1 Belt Filter Press

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 penggeseran 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), belt-filter 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 beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2.22 Belt Filter Press

(Sumber:

https://www.sludgeprocessing.com/transforms/images/Pages/35795/De-wat_Belt-press-7a3a756aa6.png)

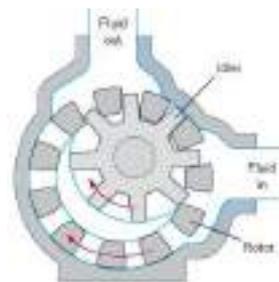
II.2.6 Aksesoris Perancangan Bangunan

II.2.6.1 Pompa

Fungsi pompa yakni sebagai alat pemindahan fluida melalui saluran terbuka/ tertutup di dasarkan dengan adanya peningkatan energi mekanika fluida. Tambahan energi ini akan meningkatkan kecepatan dan tekanan fluida. Pemompaan digunakan untuk mengalirkan limbah ke unit pengolahan selanjutnya. Satu sumber hukum mengenai standar pompa yakni *Hydraulic Institute Standard* dan telah disetujui oleh *American National Standards Institute (ANSI)* sebagai standar internasional, klasifikasi pompa berdasarkan transformasi energinya yakni sebagai berikut :

1. Pompa tekanan statis (*Positive Displacement Pump*)

Pompa pemindah positif ini adalah pompa dengan ruangan kerja yang secara periodik berubah dari besar menjadi kecil atau sebaliknya dari kecil menjadi besar, selama pompa bekerja. Energi yang diberikan pada cairan adalah energi potensial, sehingga fluida berpindah volume per volume.



Gambar 2.23 Pompa Tekanan Statis (*Positive Displacement Pump*)

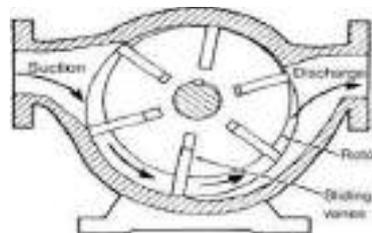
(Sumber: [http://artikel-teknologi.com/wp-](http://artikel-teknologi.com/wp-content/uploads/2012/10/20121018-101837-PM.jpg)

[content/uploads/2012/10/20121018-101837-PM.jpg](http://artikel-teknologi.com/wp-content/uploads/2012/10/20121018-101837-PM.jpg))

Adapun contoh dari pompa ini antara lain:

a. Rotary Pump

Rotary Pump, adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Keuntungan dari pompa ini adalah efisiensi yang tinggi karena secara natural dapat mengeluarkan udara dari pipa alirannya, serta dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengeluarkan udara tersebut secara manual. Dan untuk kelemahan dari pompa ini adalah apabila pompa bekerja pada kecepatan yang terlalu tinggi, maka fluida kerjanya justru dapat menyebabkan erosi pada sudut-sudut pompa.



Gambar 2.24 Rotary Pump

(Sumber: <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9780123838469000035-f03-59-9780123838469.gif>)

- Gear Pump

Gear Pump, merupakan jenis pompa roda gigi positif yang dapat memindahkan cairan dengan berulang kali menutup volume tetap menggunakan roda gigi yang saling mengunci, dan mentransfernya secara mekanis menggunakan pemompaan siklik yang memberikan aliran pulsa-halus mulus sebanding dengan kecepatan rotasi gir-nya.



Gambar 2.25 Gear Pump

(Sumber: <https://www.woerner.de/assets/images/e/GFM-L-dd6d3b8e.jpg>)

- Screw Pump

Screw Pump, merupakan pompa yang di gunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitive terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Perisn kerja Screw di temukan oleh seorang engineer Prancis bernama Rene Moneau, sehingga sering di sebut juga dengan Moneau pump.

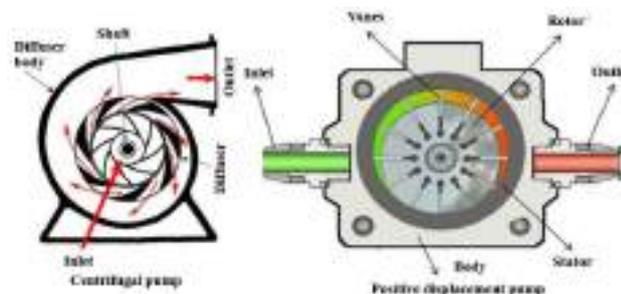


Gambar 2.26 Screw Pump

(Sumber: <https://idmboiler.co.id/wp-content/uploads/2019/07/online1-300x220-300x220.jpg>)

2. Pompa tekanan dinamis (*non positive displacement pump*)

Pompa tekanan dinamis terdiri dari poros, sudu - sudu impeller, rumah volut, dan saluran keluar. Energi mekanis dari luar diberikan pada poros pompa untuk memutar impeller. Akibat putaran dari impeller menyebabkan head dari fluida menjadi lebih tinggi karena mengalami percepatan. Arah aliran idealnya akan mengikuti bentuk kelengkungan sudut. Aliran dihasilkan oleh efek dinamik antara sudu dengan fluida kerja, yang mengacu pada persamaan '*momentum of momentum*'.



Gambar 2.27 Pompa Tekanan Dinamis (*Non Positive Displacement Pump*)

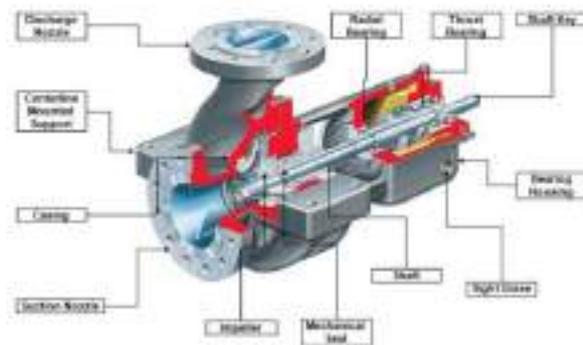
(Sumber:

<https://www.researchgate.net/publication/339576022/figure/fig1/AS:863751834185728@1582945893542/Non-positive-displacement-dynamic-centrifugal-pump-b-Non-positive-vane-pump-2-3.jpg>)

Adapun contoh dari pompa ini antara lain:

a. Centrifugal Pump

Pompa sentrifugal merupakan pompa *non positive displacement* yang menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan head untuk memindahkan zat cair. Pompa ini memiliki konstruksi yang membuat aliran fluida yang keluar dari impeller akan melalui sebuah bidang tegak lurus poros pompa.



Gambar 2.28 Centrifugal Pump

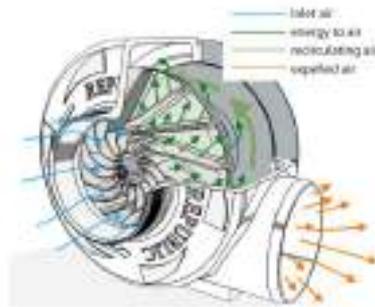
(Sumber: <https://serviceacjogja.pro/pompa-sentrifugal/>)

II.2.6.2 Blower

Blower merupakan sebuah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan dan juga berfungsi sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Umumnya blower merupakan mesin yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ketekanan akhir yang melebihi dari 40 psig. Menurut klasifikasinya blower dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Blower Sentrifugal

Pada dasarnya blower sentrifugal terdiri dari satu impeller atau lebih yang dilengkapi dengan sudu – sudu yang dipasangkan pada poros yang berputar dan diselubungi rumah (casing). Blower sentrifugal ini memanfaatkan udara inlet blower lalu di putar ke arah sumbu yang berlawanan oleh gaya sentrifugal ke arah outlet blower. Blower ini memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. Blower sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm²



Gambar 2.29 Blower Sentrifugal

(Sumber: <https://kutipan.co/wp-content/uploads/2021/03/Jenis-Blower-dan-Fungsinya.png>)

2. Blower Positive Displacement

Blower Positive Displacement, merupakan blower yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah blower. Blower ini digunakan untuk memperbesar tekanan udara pada suatu ruangan agar bisa melakukan penghisapan gas tertentu selain itu juga menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan sistem nya bervariasi. Sehingga alat ini bekerja dengan memindahkan gas atau udara lewat lobus putar dengan tingkat perputaran lebih pelan dibanding blower sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.



Gambar 2.30 Blower Positive Displacement

(Sumber: https://www.industry-plaza.com/img/positive-displacement-blower-series-gm-000288157-product_zoom.jpg)

II.2.6.3 Aksesoris Pipa

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal maka dibutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris pipa adalah untuk membangun jalur belokan, membangun jalur percabangan, mendukung metode penyambungan, dan menyambung antar pipa. Adapun aksesoris yang dimiliki pipa terdiri dari:

1. Shock pipa/Socket

Shock pipa/Socket, merupakan aksesoris untuk menyambung pipa yang bertujuan untuk memperpanjang pipa dengan menyambung lurus satu pipa dengan pipa lainnya. Aksesoris ini biasa digunakan untuk menyambung pipa dengan diameter yang sama, dengan ulir yang berada di dalam. Shock pipa terbagi menjadi beberapa jenis seperti:

a. Shock pipa PVC polos

Aksesoris ini digunakan untuk menyambung dua pipa PVC dengan ujungnya tidak ada ulir atau drat.

b. Shock pipa drat luar

Pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat dalam.

c. Shock pipa drat dalam

Pada kedua ujung shock nya memiliki ulir/drat. Shock pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan shock pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.

2. Elbow

Elbow merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (Elbow). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45°.

3. Tee

Tee merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris tee berbentuk seperti huruf “T” , namun ada beberapa kasus Tee berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya Y-Branch.

4. Reducer

Reducer merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menyambung dua pipa dengan diameter berbeda. Reducer ini terbagi menjadi dua tipe, yakni reducer elbow untuk membelokkan aliran dan reducer socket untuk memperpanjang pipa dengan sambungan lurus.

5. Dop/plug/cap/clean out

Dop/plug/cap/clean out, merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menutup saluran pipa pada ujung pipa yang tidak dihubungkan lagi. Cap adalah penutup yang lebih simpel dari yang lain, Plug adalah penutup yang sangat rapat dengan sistem ulir/drat, clean out adalah penutup yang dapat ditutup dan dibuka sesuka hati. Namun kebanyakan kontraktor memilih untuk menutup ujung pipa dengan kran, agar sewaktu-waktu ujung pipa dapat digunakan dan bermanfaat.



Gambar 2.31 Aksesoris Pipa Air Limbah

(Sumber: <https://denya.co.id/wp-content/uploads/2018/05/PVC-SNI-LIMBAH2.pdf>)

Berikut tabel spesifikasi pipa air limbah berdasarkan SNI 06-0162-1987

Tabel 2.9 Spesifikasi Pipa PVC untuk air limbah

ND	DIAMETER (LUAR (MM))		KELAS A TEBAL (MM)		KELAS B TEBAL (MM)		KELAS B TEBAL (MM)	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
40	40.0	40.3	1.8	2.2	3.2	3.7	4.040	-
50	50.0	50.3	1.8	2.2	3.2	3.7	4.050	-
63	63.0	63.3	1.8	2.2	3.2	3.7	6.075	6.130
75	75.0	75.3	1.8	2.2	3.2	3.7	6.080	6.130
90	90.0	90.3	1.8	2.2	3.2	3.7	6.100	6.140
110	110.0	110.3	2.2	2.6	3.2	3.7	6.115	6.150
160	160.0	160.5	3.2	3.7	4.0	4.5	6.140	6.160
200	200.0	200.6	3.9	4.5	4.9	5.5	-	6.180
260	260.0	260.6	4.9	5.6	6.2	7.0	-	6.200
315	315.0	316.0	6.2	7.0	7.7	8.7	-	6.240
400	400.0	401.2	7.8	8.8	9.8	11.0	-	6.300
500	500.0	501.5	9.2	11.0	12.3	13.7	-	6.350
630	630.0	631.0	12.3	13.7	15.4	17.1	-	6.420

II.3 Persen Removal

Tabel 2.10 Persen Removal Unit Pengolahan Limbah

Unit Pengolahan		% Removal	Sumber Literatur
I. Pre Treatment	Saluran pembawa & bar screen	-	-

	Bak Penampung	-	-
II. Primary Treatment	Koagulasi - Flokulasi	-	-
	Flotasi	-	-
	Skimmer	TSS : 50-85%	Cavaseno, Industrial Waste water and solid Waste engineering, page 14
	Bak Netralisasi	pH 6,5 – 9	Reynold/Richard, Unit Operations & Processes in Env.Engineering, 2nd edition, page 161
	Bak Ekualisasi	-	-
III. Secondary Treatment	Activated Sludge	COD = 50-95% BOD = 80-99%	Cavaseno, Industrial Waste water and solid Waste engineering, page 15
	Clarifier	TSS = 60-80%	Metcalf & Eddy, WWET Disposal, and Reuse 4th edition, page 497
		MLSS = 97%	Reynold 2rd edition, page 246
IV. Tertiary Treatment	Belt Filter Press	-	-

II.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik 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.

Profil hidrolis merupakan titik letak penanaman pipa air limbah yang akan dipasang pada jalan. Dengan adanya profil hidrolis, dapat diketahui kedalaman penanaman yang harus di gali pada saat konstruksi dan peletakan serta kebutuhan bangunan pelengkap. Perhitungan profil hidrolis dibutuhkan untuk mengetahui elevasi penurunan muka air selama proses pengolahan berlangsung pada masing-masing unit bangunan pengolah. Profil hidrolis dapat dihitung menggunakan persamaan *headloss* dalam bangunan maupun pipa air limbah akibat adanya jatuhnya, belokan, dan kecepatan aliran air pada bangunan pengolah.

Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat profil hidrolis, yaitu :

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus di hitung secara khusus.

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

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

- a. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- c. Kehilangan tekanan pada pompa
- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

3. Tinggi muka air

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

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b. Menambahkan 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.