

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Kertas

Proses pembuatan kertas umumnya terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan yaitu tahap persiapan, bahan baku kertas akan dipotong, dicuci dan pertama disaring. Tahap kedua yaitu *pulping*, dilakukan dengan pengadukan untuk menghasilkan bubur kayu. Tahap ketiga yaitu *washing, pulp* akan dicuci untuk memastikan kebutuhan maksimal zat kimia dan mengurangi jumlah limbah organik yang terbawa oleh *pulp*. Tahap terakhir yaitu *paper making, pulp* akan dibawa ke mesin pembuat kertas dan air dari lembaran akan dihilangkan dengan panas, vakum dan tekanan yang diberikan pada *roller* (Rosidah, U., 2009).

Dalam proses produksinya, industri kertas menghasilkan hasil sampingan berupa air limbah. Air limbah tersebut dihasilkan dari proses pembilasan kayu, proses *pulping*, dan proses pencucian *pulp*. Sehingga air limbah yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi, senyawa organik koloid terlarut serat hemisellulosa, gula, lignin, alkohol, terpentin, zat pengurai serat, perekat pati dan zat sintetis yang menghasilkan BOD, COD, dan TSS yang cukup tinggi (Rosidah, U., 2009).

2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Kertas

Setiap industri mempunyai buangan dengan karakteristik yang berbeda-beda, sesuai dengan proses yang dikerjakan dan produk yang dihasilkan. Demikian pula dengan Industri Kertas yang mempunyai karakteristik limbah yang berbeda dengan industri lainnya. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 limbah cair Industri Kertas mempunyai karakteristik dan standar baku mutu antara lain:

2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Proses biologis yang terjadi di air yaitu penguraian zat organik yang dilakukan oleh bakteri. Bakteri tersebut akan dapat menghabiskan oksigen terlarut

selama proses oksidasi. Hal tersebut dapat berdampak pada kematian ikan dan keadaan menjadi anaerobik serta menimbulkan bau busuk pada air tersebut (Rosidah, U., 2009). Berdasarkan proses oksidasi tersebut dapat diketahui besar parameter BOD atau *Biological Oxygen Demand*. BOD adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan semua zat organik yang terlarut maupun tersuspensi dalam air buangan, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. BOD dinyatakan dengan BOD₅ pada suhu 20⁰ C, dan 5 menyatakan lama waktu inkubasi. Metode pengujian *Biochemical Oxygen Demand* mengacu pada SNI 06-6989.14-2004 tentang Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Iodometri (modifikasi azida) dan SNI 6989.72-2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD).

2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD atau *Chemical Oxygen Demand* merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan zat organik secara kimiawi. Karena tidak semua jenis zat organik mampu dengan mudah dioksidasi dengan bantuan mikroorganisme atau tahan terhadap oksidasi biologis. Namun dapat diuraikan dengan pereaksi oksidator yang kuat dalam kondisi asam, seperti kalium bikromat atau permanganat (Rosidah, U., 2009). Metode pengujian *Chemical Oxygen Demand* yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.2-2004 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri.

2.2.3 Total Suspended Solids (TSS)

TSS atau *Total Suspended Solids* merupakan zat padat dalam air limbah yang mengalami suspensi (tidak mudah mengendap karena kecil ukurannya dan tidak mudah menggumpal karena sering menolak). TSS diwujudkan dalam jumlah berat mg/L kering lumpur setelah mengalami penyaringan, umumnya berupa tanah liat, *kwarts*, protein, sisa tanaman, dan bakteri. Keberadaan TSS mampu merusak ekosistem karena menghalangi sinar matahari sehingga fotosintesis menurun dan konsentrasi oksigen menurun juga. Selain itu juga dapat

mengakibatkan meningkatnya proses eutrofikasi (Rosidah, U., 2009). Metode pengujian *Total Suspended Solid* yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.3-2004 tentang Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid* atau TSS) secara gravimetri.

2.2.4 Derajat Keasaman atau pH

Derajat keasaman atau pH merupakan ukuran tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu benda cair dalam hal ini air limbah. pH adalah salah satu parameter kimiawi air limbah. Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi air limbah yang tidak netral akan menyulitkan proses penjernihannya. pH yang baik bagi air minum dan air limbah dalam netral (7). Semakin kecil nilai pHnya, maka akan menyebabkan air tersebut berupa asam (Sugiharto, 1987). Nilai pH dapat diketahui menggunakan alat pH meter atau menggunakan kertas lakmus.

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri kertas ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH air limbah. Menurut (Sugiharto, 1987), dalam proses pengolahan air limbah dibagi menjadi empat tahapan yaitu:

1. 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.

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.

3. Pengolahan Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dapat dilakukan secara *aerobic* maupun *anaerobic*.

4. 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.

5. 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.

2.3.1 Pengolahan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

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

A. Saluran Pembawa

Saluran pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolah air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (Hermana et al., n.d.). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (*slope*) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*open channel flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). 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. 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 seperti halnya saluran terbuka. Sungai, saluran irigasi, selokan, estuari merupakan contoh saluran terbuka, sedangkan terowongan, pipa, *aqueduct*, gorong-gorong, dan *siphon* merupakan contoh saluran tertutup. Berikut gambar dari saluran terbuka dan saluran tertutup:



(a)

(b)

Gambar 2.1 Saluran Pembawa

(a) Saluran Terbuka, dan (b) Saluran Tertutup

Sumber: <https://www.slideserve.com/buckminster-hays/saluran-terbuka>

Beberapa bagian geometri penampang saluran menurut Udiana (2023), diantaranya:

1. Kedalaman aliran, h (*depth of flow*)
Merupakan jarak vertikal dari titik yang terendah dari penampang saluran sampai ke permukaan air
2. Taraf (*stage*)
Merupakan elevasi dari permukaan air diukur suatu bidang persamaan tertentu (datum)
3. Lebar saluran, T (*top width*)
Merupakan lebar penampang saluran pada permukaan aliran (permukaan bebas)
4. Luas penampang aliran atau luas penampang basah, A (*flow area*)
Merupakan luas penampang aliran yang diambil tegak lurus arah aliran
5. Keliling basah O/P (*wetted parameter*)
Merupakan panjang garis pertemuan antara cairan dan batas penampang melintang saluran yang tegak lurus arah aliran
6. Jari-jari hidraulik, R (*hydraulic radius*)
Merupakan perbandingan antara luas penampang basah dan keliling basah
7. Kedalaman hidraulik, D (*hydraulic depth*), atau rumus $R = A/O$
Merupakan perbandingan antara luas penampang basah dengan lebar permukaan basah, atau rumus $D = A/T$

8. Faktor penampang, Z (*section factor*)

Merupakan faktor yang diperlukan untuk perhitungan aliran kritis, didapatkan dari hasil perkalian dari luas basah dan akar dari kedalaman hidraulik atau $Z = A \sqrt{D}$

9. Faktor penampang untuk perhitungan aliran seragam $AR^{2/3}$ adalah hasil perkalian dari luas penampang dengan pangkat dua pertiga dari jari-jari hidraulik.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

1. *Freeboard* (fb) = 5 - 30%
2. Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

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

3. Koefisien kekasaran pipa (n) = 0.002 – 0.012 (Pipa Plastik Halus)

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, Hal 101.

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa adalah sebagai berikut:

1. Luas Permukaan

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

Keterangan: A = luas permukaan (m^2)
Q = debit limbah ($m^3/detik$)
v = kecepatan alir fluida (m/detik)

2. Diameter Pipa

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2, \text{ maka}$$

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

Keterangan: A = luas permukaan (m^2)
D = diameter pipa (m)
 π = phi dengan besar 3,14

3. Jari-Jari Hidrolis

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}{\pi \times D}$$

Keterangan: R = jari-jari hidrolis (m)
A = luas permukaan (m^2)
P = keliling permukaan (m)
D = diameter pipa (m)
 π = phi dengan besar 3,14

4. *Headloss* Sepanjang Pipa

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

Keterangan: H_f = kehilangan tekanan pipa (m)
v = kecepatan alir fluida (m/detik)
n = koefisien kekasaran manning
R = jari-jari hidrolis (m)
L = panjang pipa (m)

5. *Slope* Pipa

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

Keterangan : $S = \text{slope/kemiringan pipa (m/m)}$

$H_f = \text{kehilangan tekanan pipa (m)}$

$L = \text{panjang pipa (m)}$

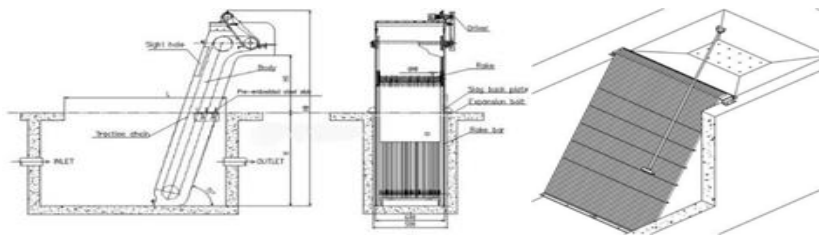
B. *Screen*

Screening atau biasa disebut dengan *bar screen* digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran $> 0,5-1,0$ cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama *screening* adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu:

1. merusak peralatan unit pengolahan berikutnya;
2. mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan
3. mencemari saluran air.

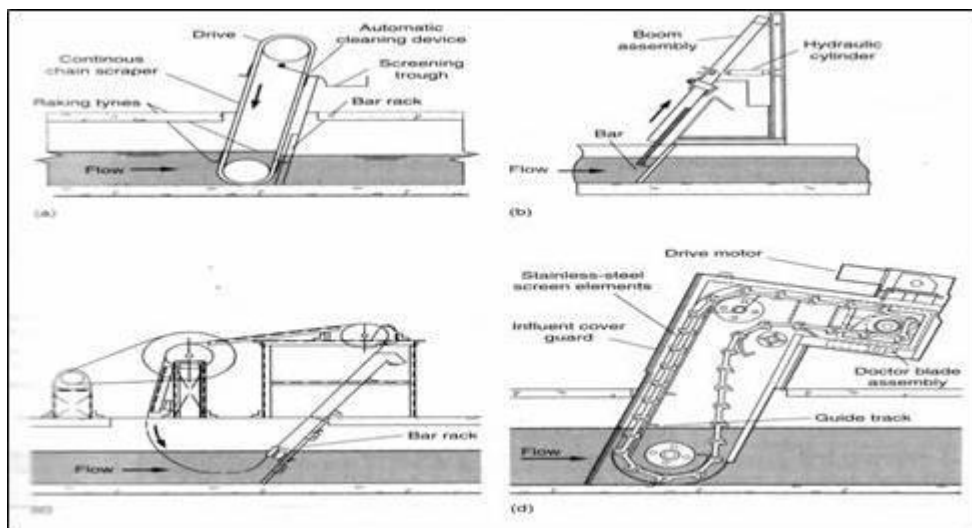
Adapun jenis dari *bar screen* adalah *fine screen* (saringan halus), *Microscreens* dan *coarse screen* (saringan kasar). Saringan halus digunakan untuk menyaring partikel dengan ukuran bukaan 2,3 - 6 mm. *Microscreens* merupakan saringan yang berukuran kurang dari 0.5 μm digunakan untuk zat atau material yang mengapung, alga, dan lainnya yang berukuran kecil. Sedangkan *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 (Bar Screen)*, anyaman kasar saringan, dan kominutor (Qasim, 1985).

Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis *bar screen* yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1996). Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri-industri yang kecil atau sedang. Pembersihan secara mekanik biasanya menggunakan bahan-bahan pembersihnya terbuat dari *stainless steel* dan plastik. Tipe-tipe dari *bar screen* dengan pembersihan mekanik diantaranya: *chain driven*, *reciprocating rake*, *catenary*, dan *continuous belt*.



Gambar 2.2 Bar Screen Mekanik dan Manual

Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007



Gambar 2.3 Tipe Screen dengan Pembersihan Secara Mekanik

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Umumnya unit *bar screen* dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (*inlet*) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari *horizontal* (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15 mm dengan jarak antar

batang 25 hingga 50 mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. *Bar screen* dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim & Zhu, 2017).

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain *screen* dengan pembersihan secara manual maupun mekanis dengan tipe *coarse screen* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	<i>U.S. Customary Units</i>		Satuan Internasional (<i>SI Units</i>)	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 - 0,6 In	0,2 - 0,6 In	5 – 15 mm	5 – 15 mm
Kedalaman	1,0 - 1,5 In	1,0 - 1,5 In	23 – 38 mm	25 – 38 mm
Jarak antar batang	1,0 - 2,0 In	0,3 - 0,6 In	25 – 50 mm	15 – 75 mm
Parameter lain				
Kemiringan terhadap vertikal (°)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0 - 2,0 ft/s	2,0 - 3,25 ft/s	0,3 - 0,6 m/s	0,6 - 1,0 m/s
Headloss (max)	6 In	5 - 24 In	150 mm	150 - 600 mm

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

316

1. Koefisien saat *non clogging* (c) = 0.7
2. Koefisien saat *clogging* (C_c) = 0.6
(Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003) WasteWater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition. Halaman 320)
3. *Headloss* (H_f) = 150 mm – 800 mm
(Sumber : (Qasim, 1985) *Wastewater Treatment Plants: Planning Design and Operation*. Holt, Rinehart, and Winston, Halaman 158)

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

A. Menghitung Bak Kontrol

1. Luas Penampang

$Q = v \times A$, maka

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

Keterangan: Q = debit air limbah (m^3/s)
 v = kecepatan alir fluida (m/s)
 A = luas penampang (m^2)

2. Kedalaman Air

$$H \text{ air} = \frac{A}{W}$$

Keterangan: H air = kedalaman air (m)
 A = luas penampang (m^2)
 W = lebar bak (m)

3. Kedalaman Total

$$H \text{ total} = H \text{ air} + \textit{Freeboard}$$

Keterangan: H total = kedalaman total (m)
 H air = kedalaman air (m)
Freeboard = tinggi ruang kosong untukantisipasi luapan (m)

4. Volume

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

Keterangan: V = volume bak (m^3)
 L = panjang bak (m)
 W = lebar bak (m)
 H = kedalaman bak (m)

5. Waktu Detensi

$$Q = \frac{V}{T_d}, \text{ maka}$$

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

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

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

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

B. Menghitung Screen

1. Panjang kisi (sisi miring)

$$\sin \theta = \frac{H}{L \text{ kisi}}, \text{ maka}$$

$$L \text{ kisi} = \frac{H}{\sin \theta}$$

Keterangan: $L \text{ kisi} = \text{panjang kisi (m)}$

$\theta = \text{derajat kemiringan bar screen (}^\circ\text{)}$

$H = \text{kedalaman bak kontrol (m)}$

2. Panjang dasar screen (sisi horizontal)

$$\cos \theta = \frac{L \text{ screen}}{L \text{ kisi}}, \text{ maka}$$

$$L \text{ screen} = \cos \theta \times L \text{ kisi}$$

Keterangan: $L \text{ screen} = \text{panjang dasar screen (m)}$

$L \text{ kisi} = \text{panjang kisi (m)}$

$\theta = \text{derajat kemiringan bar screen (}^\circ\text{)}$

3. Jumlah Batang Kisi

$$W_s = (n \times d) + ((n+1) \times r), \text{ maka}$$

$$n = \frac{W_s - r}{d + r}$$

Keterangan: $n = \text{jumlah batang kisi (buah)}$

$W_s = \text{lebar saluran (m)}$

$r = \text{jarak antar kisi (m)}$

$d = \text{lebar kisi/bar (m)}$

4. Lebar Bukaannya Kisi

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

Keterangan: $W_c = \text{lebar bukaan kisi (m)}$

$n = \text{jumlah batang kisi (buah)}$

$W_s = \text{lebar saluran (m)}$

$d = \text{lebar kisi/bar (m)}$

5. Kecepatan Melalui Kisi

$$v_i = \frac{Q}{W_c \times H_{air}}$$

Keterangan: v_i = kecepatan aliran setelah melalui kisi (m/s)
 Q = debit air limbah (m³/s)
 W_c = lebar bukaan kisi (m)
 H_{air} = kedalaman air (m)

6. Kecepatan Aliran Saat Pembersihan

$$v_c = \frac{Q}{\% \text{ sumbatan} \times W_c \times H_{air}}$$

Keterangan: v_c = kecepatan aliran saat pembersihan (m/s)
 $\%$ sumbatan = persentase tersumbat/*clogging* (%)
 Q = debit air limbah (m³/s)
 W_c = lebar bukaan kisi (m)
 H_{air} = kedalaman air (m)

7. *Headloss* saat non *clogging*

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

Keterangan: H_f = kehilangan tekanan saat non *clogging* (m)
 C = koefisien pada saat tidak *clogging* yaitu 0,7
 v_i = kecepatan aliran setelah melalui kisi (m/s)
 v = kecepatan aliran sebelum melalui kisi (m/s)
 g = percepatan gravitasi (m/s²), yaitu 9,81 m/s²

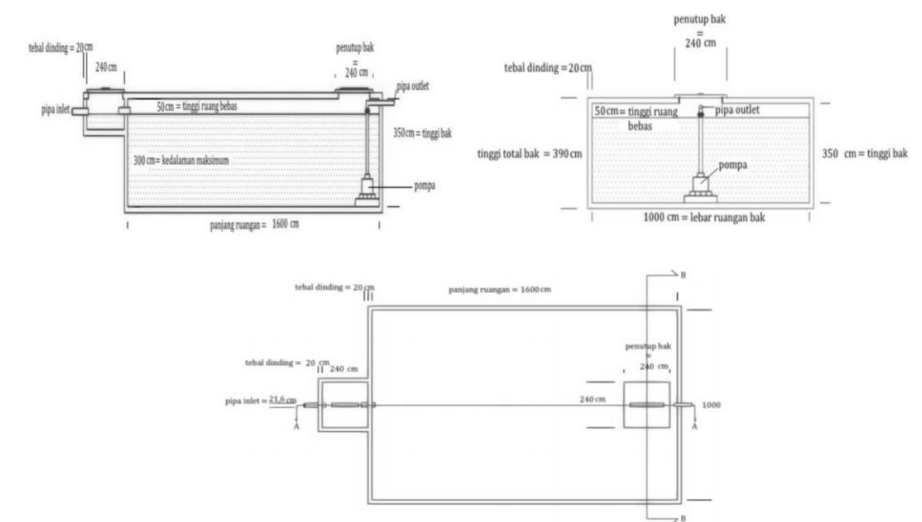
8. *Headloss* saat *clogging*

$$H_{fc} = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{v_i^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Keterangan: H_{fc} = kehilangan tekanan saat *clogging* (m)
 C_c = koefisien pada saat *clogging* yaitu 0,6
 v_i = kecepatan aliran setelah melalui kisi (m/s)
 v = kecepatan aliran sebelum melalui kisi (m/s)
 g = percepatan gravitasi (m/s²), yaitu 9,81 m/s²

C. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bangunan yang berfungsi untuk menampung dan menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung maksimum adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2.4 Bak Penampung

Sumber: Effendi, 2003

Adapun kriteria perencanaan untuk mendesain bak penampung adalah sebagai berikut:

1. Kedalaman (H) = ≤ 4 m
2. Waktu Detensi (T_d) = >2 jam
3. Freeboard (F_b) = 5 – 30% H air

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003), Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition, Halaman 344.

4. Kecepatan Aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

Sumber : Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition : Halaman 321

5. Tebal dinding = 20 cm

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

6. Koefisien aksesoris kekasaran pipa (K) =

- a. Elbow 90° = 1.1
- b. Gate valve = 0.2
- c. Check valve = 2.5
- d. Tee = 1.0
- e. Increaser = 0.5

Sumber:(Kawamura, 2000) Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities 2nd,. New York: John and Sons, Inc, hal: 159

7. Slope Maksimal (I) = $<0,001$ m/m

Sumber: EPA – Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.0. Halaman 165

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung bak penampung pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

1. Volume

$$V = Q \times T_d$$

Keterangan: V = volume bak (m^3)

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

T_d = waktu detensi (s)

2. Dimensi

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

$$L = 2 \times W$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{air}} + \textit{Freeboard}$$

Keterangan: V = volume bak (m^3)

L = panjang bak (m)

W = lebar bak (m)

H = kedalaman bak (m)

H air = kedalaman air (m)

Freeboard = tinggi ruang kosong untukantisipasi
luapan (m)

3. Luas Penampang Basah

$$A = W \times H$$

Keterangan: A = luas penampang basah (m²)

H = kedalaman air (m)

W = lebar bak (m)

4. Keliling Penampang Basah

$$P = W + (2 \times H)$$

Keterangan: P = keliling penampang basah (m)

H = kedalaman air (m)

W = lebar bak (m)

5. Jari-Jari Hidrolis

$$R = A/P$$

Keterangan: R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang (m²)

P = keliling penampang (m)

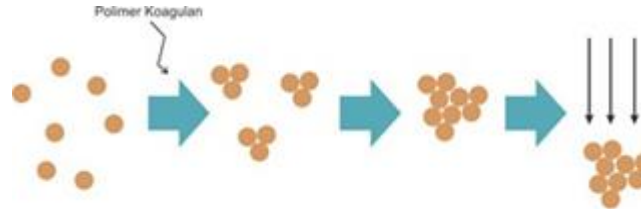
2.3.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

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

A. Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi flokulasi merupakan salah satu metode pengolahan yang ditujukan untuk mengendapkan material tersuspensi, terlarut maupun koloid. Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi partikel koloid tersuspensi dengan bantuan bahan kimia yang disebut sebagai polimer koagulan. Proses pencampuran bahan kimia koagulan dilakukan dengan kondisi aliran turbulen atau menggunakan pengadukan cepat mekanik. Kondisi turbulen akan mempermudah

proses pencampuran polimer dan air limbah domestik yang akan diolah (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).



Gambar 2.5 Proses Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi

Sumber: Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018

Flokulasi merupakan sebuah proses untuk mendestabilisasi agregat yang memiliki ukuran partikel lebih besar sebagai lanjutan dari proses koagulasi. Destabilisasi agregat dari proses koagulasi dilakukan untuk meningkatkan ikatan antar partikel sehingga membentuk partikel dengan ukuran dan massa yang lebih besar dan lebih mudah untuk diendapkan secara gravitasi. Flokulasi dilakukan dalam kecepatan aliran yang rendah menggunakan sistem kanal atau saluran terbuka maupun pengadukan mekanik. Dalam perencanaan bangunan pengolahan koagulasi flokulasi, penentuan dosis polimer yang tepat menjadi kunci efektivitas pengendapan partikel di dalam air limbah domestik. Penentuan dosis polimer harus dilakukan di laboratorium agar mendapatkan dosis optimum yang tepat sesuai dengan karakteristik air limbah domestik yang akan diolah (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016):

1. Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

2. Derajat keasaman (pH)

Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum.

3. 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.

4. Kecepatan pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

5. Kadar ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

6. Tingkat kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

7. Dosis koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik.

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).

Pengadukan terdiri dari beberapa jenis dan tipe. Adapun jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metode pengadukannya. Berdasarkan kecepatan pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

1. Pengadukan cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan cepat dari 20-60 detik, dengan gradien kecepatan 700-1000/s. Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik, pengadukan pneumatis, dan baffle basins (Reynold, 1996).

2. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012). Waktu pengadukan lambat dari 15-30 menit, dengan gradien kecepatan 20-70/s. Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan pengadukan mekanik dan pengadukan hidrolis (Reynold, 1996).

Sedangkan berdasarkan metode pengadukannya, pengadukan dibedakan menjadi:

1. Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling).

a. *Paddle impeller*

Paddle impeller biasanya memiliki dua atau empat *blades*. *Blades* dapat berbentuk *pitch* atau vertikal. Tipe yang umum digunakan yaitu vertikal. Diameter *paddle impeller* biasanya 50-80% dari diameter atau lebar tangki. Dan lebar *paddle* biasanya 1/6 atau 1/10 dari diameter. Jarak *paddle* yaitu 50% dari diameter diatas dasar tangki. Kecepatan *paddle* berkisar antara 20-150 rpm. *Paddle impeller* tidak seefisien turbin, karena tidak menghasilkan banyak turbulensi dan gaya geser (Reynold, 1996).

b. *Propeller impeller*

Propeller impeller memiliki dua atau tiga *blades*. *Pitch* didefinisikan sebagai jarak cairan bergerak secara aksial selama satu revolusi. Biasanya *pitch* adalah 1,0 atau 2,0 dan diameter *propeller* maksimum 18 inchi. Kecepatan *propeller* biasanya 400-1750 rpm. Agitator *propeller* sangat efektif dalam tangki besar, karena kecepatan tinggi (Reynold, 1996). Power yang dihasilkan dari berbagai *impeller* dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan yang di kembangkan oleh Rushton. Daya tangki tidak sama, sesuai dengan nilai konstanta *impeller*, K_T dan K_L .

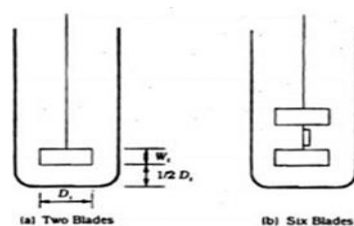
Tabel 2.3 Konstanta K_T dan K_L

Jenis <i>Impeller</i>	K_T	K_L
<i>Propeller, pitch of 1,3 Blades</i>	41,0	0,32
<i>Propeller, pitch of 2,3 Blades</i>	43,5	1,00
<i>Turbine, 4 flat blades, vanded disc</i>	60,0	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vanded disc</i>	65,0	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70,0	4,80

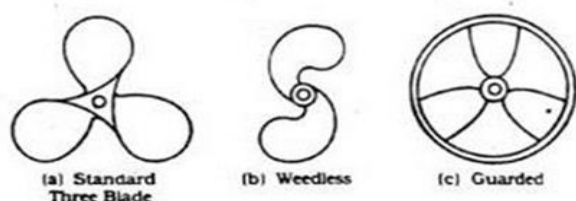
<i>Fan Turbine, 6 blades at 45°</i>	70,0	1,65
<i>Shroude turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shroude turbine, eith stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$</i>	43,0	2,25

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition, hal 188. Boston: PWS Publishing Company)

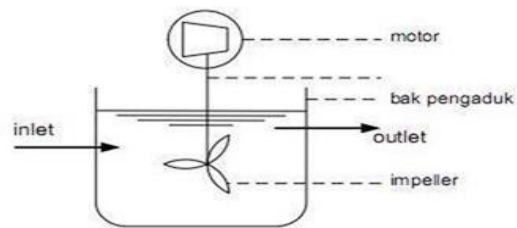
Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam kurun waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam pengadukan mekanis yaitu gradien kecepatan (G) dan t_d . Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II, dan G di kompartemen III yang paling kecil. Pengadukan mekanis umumnya digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe paddle yang dimodifikasi hingga membentuk roda (paddle wheel), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2.6 Tipe Paddle Impeller



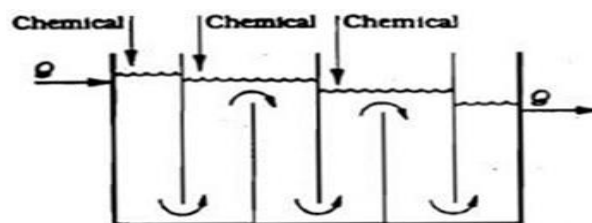
Gambar 2.7 Tipe Propeller Impeller



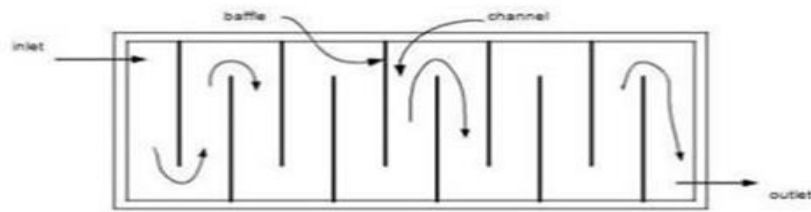
Gambar 2.8 Pengadukan Cepat dengan Pengaduk Mekanis

2. Pengadukan hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan *parshall flume*. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat/*baffle channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya.



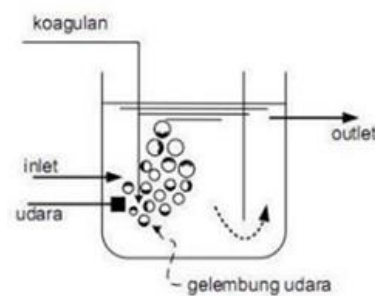
Gambar 2.9 *Baffle Basin Rapid Mixing*



Gambar 2.10 *Baffle Channel* untuk Pengadukan Lambat

3. Pengadukan pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2.11 Pengadukan Cepat Pneumatis

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).

Beberapa jenis koagulan yang dapat digunakan dalam pengolahan air limbah yaitu:

Tabel 2.4 Jenis dan Sifat Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan air	pH optimum
Aluminium sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	Bubuk	Asam	6,0 - 7,8
PAC (Poly Aluminium Chloride)	$Aln(OH)mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 - 7,8
Ferri sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 - 9
Ferro sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	>8,5
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 - 9

Sumber: Simbolon, A. M. (2020)

Sementara itu, jenis flokulan untuk memperbesar flok adalah flokulan anion (bermuatan negatif) dan flokulan kation (bermuatan positif).

Jar tes merupakan studi laboratorium untuk menentukan jenis dan dosis koagulan serta flokulan yang akan digunakan untuk mendapatkan kondisi yang optimal. Selain itu, pemilihan jenis dan jumlah koagulan serta flokulan juga berdasarkan karakteristik dan kualitas air limbah yang akan diolah. Cara jar tes menurut Simbolon, A. M. (2020) adalah

- a. Cek pH air limbah, kemudian masukkan ke dalam 5 baker glass masing-masing sebanyak 500 ml
- b. Masing-masing limbah dalam beker glass ditambahkan koagulan sesuai dengan dosis yang dikehendaki
- c. Lakukan pengadukan cepat dengan kecepatan 60 sampai dengan 120 rpm selama 5 menit dengan alat jar tes dan cek pH

- d. Masing-masing limbah dalam beker glass ditambahkan flokulan dengan dosis yang dikehendaki
- e. Lakukan pengadukan lambat dengan kecepatan 50 rpm selama 5 menit atau sampai terbentuk flok berukuran besar (kasat mata) dan cek pH
- f. Lakukan pengamatan waktu pengendapan dengan stopwatch (minimal 15 menit dan maksimal 60 menit) dan perhitungkan tinggi endapan yang terbentuk
- g. Supernatan diambil untuk dianalisis kualitasnya, seperti COD, TSS dan lainnya.

Kriteria Desain Bak Koagulasi :

1. Waktu detensi (td) = 20 – 60 detik (Reynold. Hal 182)
2. Gradien kecepatan (G) = 700-1000/detik (Reynold. Hal 182)
3. Tinggi bak (H) = 1 – 1,25 lebar bak (Reynold. Hal 184)
4. Jarak impeller dari dasar = 30 - 50% diameter impeller (Reynold. Hal 184)
5. Kecepatan turbin impeller= 10 – 150 rpm (Reynold. Hal 184)
6. Diameter turbin impeller = 30 – 50% diameter atau lebar bak (Reynold. Hal 185)
7. Lebar impeller = 1/6 – 1/10 m (Reynold. Hal 185)
8. Nre >10000 Turbulen (Reynold. Hal 187)
9. Dosis alum = 250 mg/l (Eckenfelder. Hal 132)
10. Kadar alum = 15-22% (Qasim Hal 236 pdf)
11. ρ alum = 960-1010 kg/m³ (Reynold. Hal 175)

Kriteria Desain Bak Flokulasi :

1. Waktu detensi (td) = 30 – 60 menit
2. Gradien kecepatan (G) = 50 – 100/detik (Metcalf & Eddy hal. 348)
3. Freeboard = 5-30%
4. Nre > 10000 Turbulen
(Sumber : Reynold, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Hal 194 – 199)
5. Viskositas absolut (μ) = 0,8004 x 10⁻³ N.s/m²
6. Kecepatan pengadukan = 20 – 150 rpm (Reynold. Hal 184)

7. Jarak impeller dari dasar = 30 - 50% diameter impeller (Reynold. Hal 184)
8. Tinggi Bak Flokulasi = 1 - 1,25 Lebar Bak (Tom D. Reynold Hal 184 - 187)

Rumus Perhitungan Bak Koagulan, Bak Koagulasi dan Bak Flokulasi:

1. Keb. koagulan murni = Dosis koagulan x Q
 Keterangan: Keb. koagulan murni = kebutuhan koagulan murni (mg/hari)
 Dosis koagulan = dosis koagulan (mg/L)
 Q = debit air limbah (L/hari)
2. Keb. koagulan sesungguhnya = $\frac{100}{\text{kadar koagulan}} \times \text{keb. koagulan murni}$
 Keterangan: kadar koagulan = kadar koagulan (%)
 keb. koagulan murni = kg/hari
3. Q koagulan = $\frac{\text{keb. koagulan sesungguhnya}}{\rho \text{ koagulan}}$
 Keterangan: Q koagulan = debit koagulan (m³/hari)
 ρ koagulan = massa jenis koagulan (kg/m³)
4. Q air pelarut = $\frac{\text{kadar air dalam larutan}}{\text{kadar koagulan}} \times \text{Q koagulan}$
 Keterangan: Q air pelarut = debit air pelarut (m³/hari)
 Q koagulan = debit koagulan (m³/hari)
5. Q bak total = Q koagulan + Q air pelarut
 Keterangan: Q air pelarut = debit air pelarut (m³/hari)
 Q koagulan = debit koagulan (m³/hari)
6. V bak = Q bak total x td
 Keterangan: V bak = volume bak (m³)
 Q bak total = debit bak total (m³/s)
 Td = waktu detensi (s)
7. H air = $\frac{V}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$
 Keterangan: H air = kedalaman air (m)
 V = volume bak dalam 1 hari (m³)
 D = diameter bak (m)
 π = 3,14

$$8. H_{total} = H_{air} + (Fb \times H_{air})$$

Keterangan: H_{total} = kedalaman total (m)

H_{air} = kedalaman air (m)

Fb = freeboard (%)

$$9. P = G^2 \times \mu \times V$$

Keterangan: P = daya pengadukan (N.m/s)

μ =

V =

$$10. H_i = a \times D_i$$

Keterangan: H_i = jarak impeller dengan dasar (m)

a = persentase jarak impeller dengan dasar (%)

D_i = diameter impeller (m)

$$11. \text{Cek } D = \frac{D_i}{D_{bak}} \times 100\%$$

Keterangan: Cek D = cek perbandingan D_i dengan D_{bak} (%)

D_i = diameter impeller (m)

D_{bak} = diameter bak (m)

$$12. W_i = \frac{D_i}{x}$$

Keterangan: W_i = lebar impeller (m)

D_i = diameter impeller (m)

x = kriteria (6-10)

$$13. N_{re} = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan: N_{re} = bilangan reynold

D_i = diameter impeller (m)

n = kecepatan turbin impeller (rps)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

μ = viskositas absolut (N.s/m^2)

B. Bak Pengendap Pertama

Menurut Davis (2011) dalam Buku B SPALD-T Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR Tahun 2018, terdapat empat tipe sedimentasi atau pengendapan padatan, yakni:

1. Sedimentasi Tipe 1, merupakan tipe pengendapan partikel diskrit yang mengendap dengan kecepatan konstan. Partikel tersebut mengendap langsung tanpa adanya proses pembentukan flok dengan partikel lainnya. Penyisihan pasir pada grit chamber merupakan contoh pengendapan Tipe 1.
2. Sedimentasi Tipe 2, merupakan pengendapan partikel flokulan pada padatan tersuspensi. Fenomena ini terjadi ketika partikel-partikel di dalam air limbah domestik saling berinteraksi membentuk partikel yang lebih besar. Pembentukan flok tersebut menyebabkan bertambahnya massa padatan sehingga kecepatan pengendapan meningkat lebih cepat. Contoh sedimentasi Tipe 2 antara lain pengendapan pertama pada pengolahan air limbah domestik dan pengendapan partikel hasil proses koagulasi-flokulasi dengan penambahan bahan kimia.
3. Sedimentasi Tipe 3, merupakan proses pengendapan partikel dengan konsentrasi yang lebih pekat. Partikel-partikel secara bersama-sama berinteraksi dan mengendap pada kecepatan pengendapan yang konstan. Pada bagian atas zona terdapat batas yang memisahkan antara massa partikel yang mengendap dengan air yang relatif lebih jernih.
4. Sedimentasi Tipe 4, merupakan kelanjutan dari sedimentasi Tipe 3. Lumpur yang telah terendapkan dalam proses sedimentasi Tipe 3 akan mengalami pemadatan sehingga diperoleh lumpur dengan kadar solid yang lebih tinggi

Unit pengendap pertama atau sedimentasi primer memiliki tujuan untuk menghilangkan zat padat yang tersuspensi. Partikel tertentu, seperti padatan limbah kertas, tekstil, pulp, atau domestik akan menggumpal pada saat partikel tersebut menuju dasar tangki sedimentasi, sehingga memengaruhi laju pengendapan. Tujuan utama dari sedimentasi primer adalah untuk menghilangkan settleable solid dan material yang mudah mengambang, dengan demikian akan mengurangi kandungan padatan tersuspensi pada air limbah. Sedimentasi primer

digunakan sebagai Langkah awal dalam pengolahan lebih lanjut dari air limbah. Rancangan dan pengoperasian yang efisien dari tangki sedimentasi primer harus menghilangkan 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan 25 hingga 40 persen BOD (Reynolds & Richards, 1996). Tangki sedimentasi juga telah digunakan sebagai tangki retensi, dirancang untuk memberikan waktu detensi sedang (10 sampai 30 menit) untuk *overflow* air limbah. Efisiensi bak sedimentasi dalam penghilangan parameter BOD dan TSS dipengaruhi oleh:

1. jenis aliran yang masuk ke dalam tangki sedimentasi;
2. ukuran partikel, bentuk partikel, dan konsentrasi partikel;
3. viskositas air limbah pada saat masuk ke dalam bak sedimentasi;
4. temperatur air limbah dan lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Adapun kriteria desain untuk bak pengendap pertama yaitu:

Tabel 2.5 Kriteria Desain Bak Pengendap Pertama

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

10	Konsentrasi Solid	-	4-12	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Halaman 398
11	Suhu	T	30	°C	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 1742
12	Viskositas Kinematis	V	$0,8 \times 10^6$	m^2/s	
13	Viskositas Absolut	μ	$0,798 \times 10^{-3}$	m^2/s	
14	Massa Jenis Air (T=30°C)	ρ_{air}	0,99568	g/cm^3	
15	Bilangan Reynold (NRE)	NRE	<1 (Laminer)	-	(Reynolds & Richards, 1996) Hal 224
16	Spesific Gravity Solid (Si)	Si	1,4	-	(Metcalf & Eddy et al., 2007) Hal 1456
17	Spesific Gravity Sludge (Sg)	Sg	1,02	-	
18	NRE untuk Vh	NRE	<2000 (Laminer)	-	(Razif, 1985) Pengolahan Air Minum, Teknik Penyehatan Fakultas Teknik Sipil ITS
19	Nfr		10^5	-	
20	Koef. Kekasaran Aksesoris Pipa	K	Elbow = 1,1 Tee Lurus = 0,35 Tee Cabang = 1 Gate Valve = 0,2	-	(M. Noerbambang & Morimura, 2005) Halaman 76

Sumber: literatur tertera pada tabel

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak pengendap antara lain:

A. Zona Pengendapan (Settling Zone)

1. Debit tiap unit (Q)

$$Q = \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Jumlah unit}}$$

2. Volume bak pengendap (V)

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan: T_d = waktu detensi

Q = debit air

3. Luas permukaan (A)

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

Keterangan: V = volume bak

H = tinggi bak

4. Dimensi bak pengendap

$$A = L \times W$$

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$L = 2 \times W$$

$$H_{tot} = H + F_b$$

Keterangan: A = luas bak

L = panjang bak

W = lebar bak

H = tinggi bak

F_b = freeboard

5. Cek volume max (Vmax)

$$V_{max} = L \times W \times H_{tot}$$

Keterangan: L = panjang bak

W = lebar bak

H_{tot} = tinggi bak total

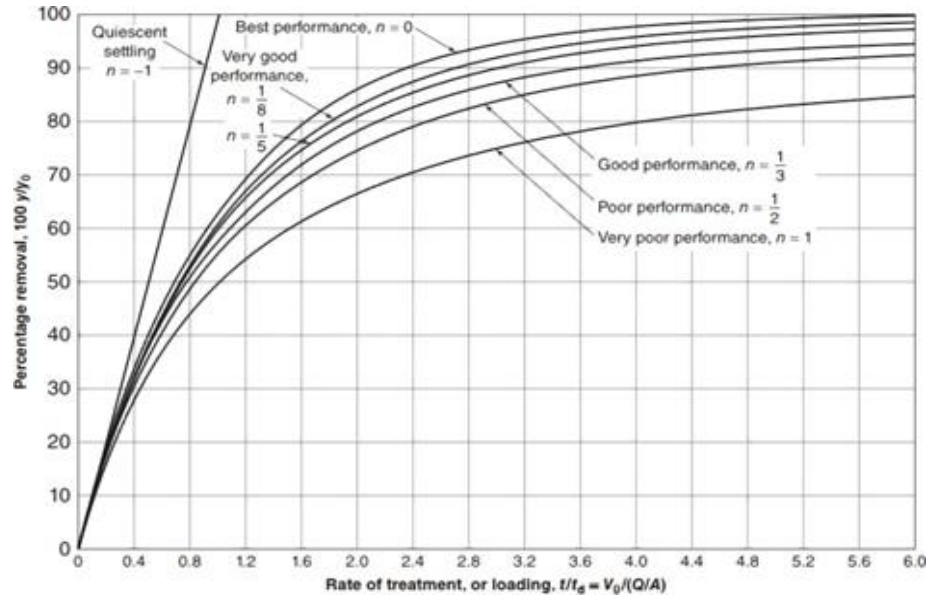
6. Cek waktu detensi (td cek)

$$td_{cek} = \frac{v_{max}}{Q}$$

Keterangan: V_{max} = volume max

Q = debit air

7. Kecepatan pengendapan partikel (V_s)



Gambar 2.12 Grafik Kecepatan Pengendapan Partikel pada Prasedimentasi (Grafik Shammam, 2016. Halaman 448)

Persen removal berkisar antara 60-95%

$$\frac{v_s}{Q} = X \text{ (Diperoleh dari grafik)}$$

Keterangan: Q = debit air

A = luas bak

8. Diameter partikel (D_p)

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

9. Jari-jari hidrolis (R)

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

Keterangan: W = lebar bak

H = tinggi bak

10. Massa jenis solid (p_s)

$$S_g = \frac{p_s}{p}$$

11. Kecepatan horizontal (Vh)

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

Keterangan: W = lebar bak
H = tinggi bak
Q = debit air

12. Cek bilangan Reynold (Nre)

$$N_{re} = \frac{v h \times R}{\nu}$$

Keterangan: Vh = kecepatan horizontal
R = viskositas kinematik
v = kecepatan aliran

13. Cek bilangan Froude (Nfr)

$$N_{fr} = \frac{v h^2}{\sqrt{g x h}}$$

14. Kecepatan penggerusan (Vsc)

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times (S_g - 1) \times g \times d_p}{f}}$$

15. Kemiringan dasar bak (S)

$$S = 1\% \times L$$

Keterangan: L = panjang bak

B. Zona Inlet

1. Debit tiap unit (Q)

$$Q = \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Jumlah unit}}$$

2. Luas permukaan (A)

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

Keterangan: Q = debit air
v = kecepatan aliran

3. Dimensi saluran

$$A = H \times W$$

$$W = \sqrt{A}$$

$$H = W$$

$$H_{tot} = H + (Fb \times H)$$

4. Cek kecepatan (V_{cek})

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan: Q = debit air
A = luas bak

5. Jari-jari hidrolis

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

Keterangan: W = lebar bak
H = tinggi bak

6. Kemiringan dasar saluran (S)

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

7. Headloss saluran (H_f)

$$H_f = n \times L$$

Keterangan: n = jumlah saluran
L = panjang saluran

C. Zona Transisi (Transition Zone)

1. Luas perforated baffle (A_b)

$$A_b = \text{Lebar baffle (Wb)} \times \text{tinggi baffle (Hb)}$$

2. Luas per lubang (A_L)

$$A_L = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Keterangan: D = diameter pipa

3. Luas bersih baffle (A_{bb})

$$A_{bb} = 40\% \times A_b$$

Keterangan: A_b = luas perforated baffle

4. Jumlah lubang total (n_{total})

$$n_{tot} = \frac{A_{bb}}{A_L}$$

Keterangan: A_L = luas per lubang

A_{bb} = luas bersih baffle

5. Cek jumlah lubang (cek_n)

cek_n = lubang horizontal (n_h) x lubang vertical (n_v)

6. Jarak antar lubang horizontal (s_h)

$$s_h = \frac{W}{n_h + 1}$$

Keterangan: n_h = lubang horizontal

H = tinggi bak

7. Jarak antar lubang vertical (s_v)

$$s_v = \frac{H}{n_v + 1}$$

Keterangan: n_v = lubang vertikal

H = tinggi bak

8. Debit per lubang (Q_L)

$$Q_L = \frac{Q_{bak}}{\text{jumlah lubang } (n)}$$

9. Kecepatan aliran lewat lubang (v_L)

$$v_L = \frac{\text{Debit lubang } (Q_L)}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

10. Jari-jari lubang (R)

$$R = \frac{\text{Diameter lubang } (D)}{2}$$

11. Cek bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{\rho \text{ air} \times v \text{ lubang} \times R}{\mu \text{ air}}$$

Keterangan: R = viskositas kinematik

μ = viskositas dinamik

ρ = massa jenis

12. Cek bilangan Froude (Nfr)

$$Nfr = \sqrt{\frac{v_L}{g \times R}}$$

Keterangan: R = viskositas kinematik

g = gravitasi

v_L = kecepatan aliran lewat lubang

D. Zona Lumpur (Sludge Zone)

1. TSS yang teremoval

$$\text{TSS teremoval} = \% \text{removal} \times \text{kadar TSS}$$

2. Kekeruhan yang teremoval

$$\text{Kekeruhan teremoval} = \% \text{removal} \times \text{kadar kekeruhan}$$

3. BOD yang teremoval

$$\text{BOD teremoval} = \% \text{removal} \times \text{kadar BOD}$$

4. Berat lumpur (W_s)

$$W_s = Q \times (\text{TSS} + \text{kekeruhan} + \text{BOD}) \text{ teremoval}$$

5. Berat air

$$W_w = \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar padatan dalam lumpur}} \times W_s$$

Keterangan: W_s = berat sludge (lumpur)

6. Berat jenis lumpur (ρ_s)

$$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%)$$

7. Volume Lumpur

$$V \text{ sludge} = \frac{\text{berat lumpur } (W_s) + \text{berat air } (W_w)}{\text{berat jenis lumpur } (\rho_s)} \times t d$$

Keterangan: T_d = waktu detensi

8. Dimensi zona lumpur a

- a. Luas permukaan atas zona lumpur

$$A = L_1 \times W_1$$

- b. Luas permukaan dasar zona lumpur

$$A' = L_2 \times W_2$$

$$V \text{ limas terpancung} = \frac{1}{3} \times H \times (A + (\sqrt{AA'}) + A')$$

Keterangan: A = luas zona

L = Panjang zona

W = lebar zona

H = tinggi zona

E. Zona Pelimpah (*Overflow Zone*)

1. Panjang total weir (L_w)

$$L_w = \frac{Q_{bak}}{WRL}$$

Keterangan: WRL= weir loading

2. Panjang pelimpah (L)

$$L = \frac{L_w}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan: L_w = Panjang total weir

3. Debit tiap pelimpah (weir)

$$Q_{\text{weir}} = \frac{Q}{n}$$

Keterangan: Q = debit air

n = jumlah saluran

4. Luas saluran gutter

$$A = \frac{Q_{\text{weir}}}{v}$$

Keterangan: v = kecepatan aliran

5. Tinggi (H) dan Lebar (W) Pelimpah (gutter)

Direncanakan $H:W = 1 : 2$ maka:

$$H = \sqrt{2 \times A}$$

$$W = 2 \times H$$

6. Ketinggian air pada pelimpah (H_{air})

$$H_{\text{air}} = \left(\frac{Q_{\text{weir}}}{1.38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{2/3}$$

7. Tinggi gutter (h_{gutter})

$$h_{\text{gutter}} = h_{\text{air}} + (h_{\text{air}} \times 20\%)$$

8. Jari- jari hidrolis gutter

$$R_{\text{gutter}} = \frac{h_{\text{air}} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h_{\text{air}}) + \text{lebar gutter}}$$

9. Luas basah gutter (A_{gutter})

$$A_{\text{gutter}} = \text{lebar gutter} \times h_{\text{air}}$$

10. Slope gutter (S)

$$S_{\text{gutter}} = \left(\frac{Q_{\text{gutter}} \times n}{A_{\text{gutter}} \times (R_{\text{gutter}})^{2/3}} \right)^2$$

11. Headloss pada gutter

$$H_f = L_{\text{gutter}} \times S_{\text{gutter}}$$

Keterangan: L = panjang

S = slope

12. Jumlah V notch

$$n = \frac{\text{panjang weir}}{\text{jarak antar v notch} + \text{lebar v notch}}$$

13. Debit mengalir tiap V notch

$$Q_{\text{notch}} = \frac{Q}{\text{jumlah v notch}}$$

Keterangan: Q = debit air

14. Tinggi peluapan melalui V notch (H)

$$Q = \frac{8}{15} (C_d) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan: g = gravitasi

H = tinggi peluapan

F. Zona Outlet

1. Volume saluran pengumpul (V)

$$V = \text{Debit (Q)} \times \text{waktu detensi (td)}$$

2. Dimensi saluran

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

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

Keterangan: L = Panjang bak

W = lebar bak

H = tinggi bak

3. Jari-jari hidrolis (R)

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

Keterangan: W = lebar bak

H = tinggi bak

4. Luas penampang pipa (A)

$$A = \frac{\text{Debit air (Q)}}{\text{kecepatan aliran (v)}}$$

5. Diameter pipa (D)

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

Keterangan: A = luas bak

6. Cek kecepatan (Vcek)

$$\begin{aligned} V_{cek} &= \frac{\text{Debit air (Q)}}{\text{Luas penampang pipa (A)}} \\ &= \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi \times D^2} \end{aligned}$$

Keterangan: Q = debit air

D = diameter pipa

2.3.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Air limbah umumnya mengandung polutan organik yang berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut; (1) mengubah (mengoksidasi) konstituen biodegradable terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; (2) menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan non settleable menjadi flok biologis atau biofilm; (3) mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan (5) menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007).

A. Biofilter Anaerobik-Aerobik

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan trickling filter. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan

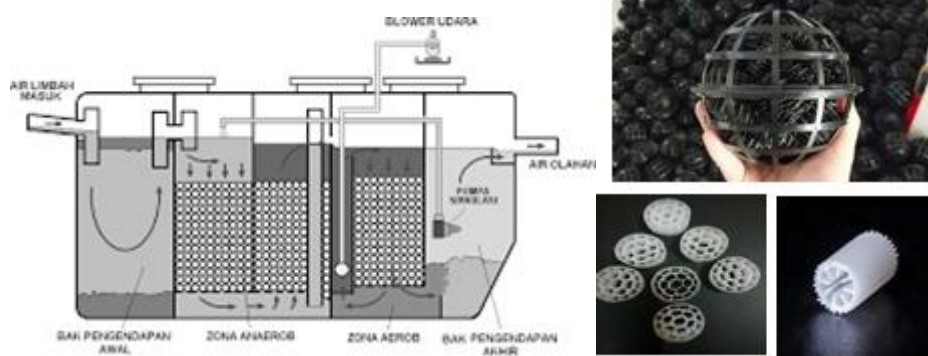
keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).

Menurut Nusa Idaman Said (2005), Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain (Said, 2005):

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
2. Diameter media. Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.
4. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman.
5. Suhu/temperatur. Suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis

Biofilter aerob merupakan teknologi pengolahan air limbah sederhana dengan pertumbuhan mikroorganisme terlekat pada media. Dan biofilter ini umumnya digunakan untuk air limbah dengan kandungan bahan organik yang relatif rendah atau setara dengan kandungan polutan pada air limbah domestik, memiliki resiko ketekoran biomassa yang rendah, memiliki waktu tinggal biomassa yang lebih lama, tahan terhadap perubahan beban, memiliki berat media

yang ringan, memiliki resiko penyumbatan yang rendah, dan harga per unit luas permukaan media yang murah (Hibban dkk, 2016).



Gambar 2.13 Skema kerja dan media biofilter aerobik dalam tangki

(Sumber: <https://ipalbiofive.com>)

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter aerobik ini antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.6. Kelebihan dan Kekurangan Unit Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan sistem upflow
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), detergen, amonium, dan fosfor	Membutuhkan waktu picu (starter time) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk dapat menimbulkan penyumbatan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (grease)
Dibandingkan dengan unit activated sludge, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor	

Sumber: (Kaswinarni, 2007)

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said, 2005):

Tabel 2.7 Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1	<i>Trickling filter</i> dengan batu pecah	100-200
2	Modul <i>Honeycomb</i> (sarang tawon)	150-240
3	Tipe Jaring	50
4	RBC	80-150

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 292

Menurut Reuter (2009), baik biofilter anaerobik dan aerobik memiliki kriteria desain sebagai berikut (Reuter et al., 2009):

1. Beban Permukaan = 20-50 m³ /m² .hari
2. HRT di bak pengendap / tangki septik = 2 jam
3. HRT di anaerobik Filter = 1,5-2 hari
4. Penyisihan BOD = 70-90%
5. Rasio SS/BOD = 0,35-0,45
6. Luas Spesifik Media = 80-180 m² /m³
7. Velocity Upflow = < 2 m/jam

Menurut Nusa Idaman Said (2005) kriteria desain lain untuk media biofilter aerob dan anaerob adalah sebagai berikut (Said, 2005):

A. Biofilter Anaerob

1. Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
2. Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
3. Beban BOD/volume media = 0,5 – 4,0 kg BOD /m³ .hari
4. Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
5. Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m

B. Media Biofilter Anaerob

1. Tipe = sarang tawon
2. Material = PVC Sheet
3. Ketebalan = 0,15 – 0,23mm
4. Luas kontak spesifik = 150 – 226m² /m³
5. Diameter lubang = 3cm x 3cm
6. Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
7. Porositas rongga = 0,98

C. Biofilter Aerob

1. Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam 24
2. Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
3. Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD /m³ .hari
4. Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
5. Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m

D. Media Biofilter Aerob

1. Tipe = Sarang Tawon
2. Material = PVC Sheet
3. Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
4. Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m² /m³
5. Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
6. Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
7. Porositas Rongga = 0,98

E. Blower Udara

1. Densitas udara = 1,2kg/m³
2. Berat aliran udara (w) = 85-1700m³ /menit

3. Tekanan absolut outlet (P2) = 25lb/in² = 1,7 atm
4. Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
5. Konstanta Udara = 8,314 kJ/mol.K
6. K = 1,395
7. N = 0,28
8. Efisiensi = 70-90%

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 304-311

Berikut merupakan tahapan dan rumus-rumus yang biasa digunakan dalam perhitungan unit biologis:

A. Perhitungan Biofilter Anaerobik

1. Beban BOD di dalam air limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit limbah} \times \text{BOD inlet}$$

2. Volume media yang diperlukan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Beban BOD air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

3. Volume reaktor yang diperlukan (Rancangan 1 Anaerob-1Aerob)

$$V_{\text{reaktor}} = \frac{100}{60} \times V_{\text{media diperlukan}}$$

4. Waktu tinggal di dalam reaktor (Td)

$$T_d = \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{Debit Air Limbah}}$$

5. Dimensi reaktor

$$V_{\text{reaktor}} = P \times L \times T$$

Keterangan: P = panjang

L = lebar

T = tinggi

6. Dimensi Media

$$V = P \times L \times T$$

7. BOD Loading per volume media

$$\text{BOD} = \frac{\text{Beban BOD dalam air limbah}}{\text{Volume media reaktor}}$$

8. BOD Loading (Jika media memiliki luas spesifik 150m² /m³)

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD Loading per Volum Media}}{\text{Luas Spesifik Media}}$$

9. Produksi sludge

$$V.\text{Lumpur} = \frac{\text{Beban COD+BOD+TSS lumpur+Beban P lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

10. Pipa outlet Anaerobik

$$A = Q/v$$

Keterangan: Q = debit limbah

v = kecepatan aliran

Diameter pipa outlet:

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

B. Perhitungan Biofilter Aerobik

1. Beban BOD di dalam air limbah

$$\text{Beban BOD} = \text{Debit air limbah} \times \text{BOD inlet}$$

2. Volume media diperlukan

$$V.\text{media} = \frac{\text{Beban BOD di dalam air}}{\text{Beban BOD per volume media}}$$

3. Volume reaktor diperlukan

$$V.\text{reaktor} = (100/40) \times V.\text{media}$$

4. Waktu tinggal yang dibutuhkan pada reaktor (Td)

$$T_d \text{ reaktor} = \frac{V.\text{reaktor}}{\text{Debit air limbah}} \times 24 \text{ jam}$$

5. Dimensi reaktor aerobik biofilter

$$V.\text{reaktor} = P \times L \times T$$

Keterangan: P = panjang

L = lebar

T = tinggi

6. Perhitungan ruang aerasi dan ruang media

$$\text{Volume media} = P \times L \times T$$

7. Total volume efektif biofilter aerobik

$$V_{\text{Total}} = P \times L \times T$$

8. Volume total media biofilter aerobik

$$V.\text{Media} = P \times L \times T$$

9. BOD loading per volume media

$$BOD_{Loading} = \frac{v \text{ total}}{v \text{ media}}$$

10. BOD loading (media yang digunakan memiliki luas spesifik 150 m²/m³)

$$BOD_{Loading} = \frac{BOD \text{ loading}}{150 \text{ m}^2/\text{m}^3}$$

11. Kebutuhan udara untuk menghilangkan N dan P

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{\text{Kebutuhan udara teoretis}}{\text{Berat udara} \times \text{Jumlah oksigen}}$$

Cek rasio vol.udara/vol.limbah = vol udara : vol air limbah

12. Produksi Sludge

$$\text{Volume lumpur} = \frac{\text{Beban COD lumpur}}{\text{Konsentrasi solid kering} \times \text{densitas lumpur}}$$

2.3.4 Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu instalasi pengolahan air limbah domestik. Pengolahan lumpur memiliki beberapa tujuan, yakni mengurangi kadar air, menstabilkan, serta menghilangkan mikroorganisme patogen yang berpotensi terkandung di dalam lumpur. Hal ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas. Dari pengolahan air limbah maka hasilnya adalah berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan.

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

A. Bak Pengering Lumpur (*Sludge Drying Bed*)

Prinsip bak pengering lumpur yaitu mengeluarkan air lumpur melalui media pengering secara gravitasi dan penguapan sinar matahari. Lumpur yang berasal dari pengolahan air limbah secara langsung tanpa dilakukan proses pemekatan terlebih dahulu dapat dikeringkan dengan bak pengering lumpur. Bak pengering berupa bak dangkal yang berisi media penyaring pasir, batu kerikil sebagai penyangga pasir serta saluran air tersaring (filtrat) di bagian bawah bak. Pada bagian dasar dibuat saluran pembuangan air dan di atasnya diberi lapisan kerikil dan lapisan pasir kasar. Pengurangan kandungan air dalam lumpur menggunakan sistem pengering alami dengan matahari, maka air akan berkurang melalui saringan dan proses penguapan. Kelebihan bak pengering lumpur adalah sistem operasi yang mudah dan sederhana serta biaya operasional rendah. Kelemahan bak pengering lumpur adalah membutuhkan lahan yang cukup luas dan sangat bergantung dengan cuaca (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

Adapun kriteria perencanaan untuk unit SDB antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.8 Kriteria Desain Unit Bak Pengering Lumpur (SDB)

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1	Tebal pasir	23-30	cm	Qasim, 1985
2	Tebal kerikil	20-30	cm	
3	<i>Sludge loading rate</i>	100-300	kg/m ² .tahun	
4	Tebal <i>bed</i>	20-30	cm	
5	Lebar <i>bed</i>	5-8	m	
6	Panjang <i>bed</i>	6-30	m	
7	Waktu pengeringan	10-15	Hari	
8	<i>Uniformity coefficient</i>	<4		
9	<i>Effective size</i>	0,3-0,75	Mm	
10	V air dalam <i>inlet</i>	0,75	m/detik	
11	V air dalam <i>drain</i>	0,75	m/detik	

12	Tebal lumpur	200-300	mm	Metcalf & Eddy 4th Edition., 2003
13	Kecepatan Pipa <i>Underdrain</i>	0,75	m/detik	
14	Diameter Pipa <i>Underdrain</i>	>100	mm	
15	Koef. Keseragaman	<4	-	
16	Ukuran Efektif	0,3-0,785	%	
17	<i>Slope</i>	>1	%	
18	Rasio lebar:panjang	6:6-30	-	

Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2018

Adapun rumus yang digunakan pada unit pengolahan *Sludge Drying Bed* (SDB) adalah sebagai berikut:

1. Tebal media

Tebal media = tebal pasir + tebal kerikil + tebal cake

2. Volume *cake sludge*

$$V_i = \frac{V \text{ lumpur} \times (1-P)}{1-P_i}$$

Keterangan: P = Kadar air

P_i = Berat air dalam *cake* (60 – 70%)

3. Volume *bed*

$$V = V_i \times t_d$$

Keterangan: V_i = Volume *cake sludge* (m³)

t_d = waktu detensi (detik)

4. Volume tiap *bed*

$$V_b = \frac{V}{\text{jumlah bed}}$$

Keterangan: V = Volume *bed* (m³)

5. Dimensi tiap *bed*

$$A = \frac{V_b}{\text{tebal cake}}$$

$$A = L \times W$$

Keterangan V_b = volume tiap *bed* (m³)

L = panjang (m)

W = Lebar (m)

6. Kedalaman *underdrain*

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

Keterangan: V_a = volume air

A = luas tiap *bed*

7. Kedalaman total

H = tinggi *cake* + tinggi media

$$H_{total} = H + F_b$$

Keterangan: H_{total} = Kedalaman total bak (m)

F_b = *Freeboard* (10-30% kedalaman)

8. Diameter pipa *underdrain*

$$Q = \frac{V_a}{t_d}$$

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

Keterangan: V_a = volume air

t_d = waktu detensi

Q = debit air

9. Volume air

$$V_a = \frac{\text{volume cake sludge } (V_i) - \text{volume padatan}}{\text{jumlah bed}} \times t_d$$

Keterangan: t_d = waktu detensi

B. Belt-Filter Press

Sebagian besar dari jenis *Belt-Filter Press*, lumpur dikondisikan dibagian 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 *Scraper 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 beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasin yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering *cake* ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.

2.4 Persen Removal Unit Pengolahan

Persen removal merupakan persentase penyisihan beban pencemar dari tiap unit pengolahan air limbah sehingga dapat dihitung dan diketahui kadar pencemar yang dikeluarkan oleh IPAL eksisting. Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman %penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah kertas sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air limbah yang telah direncanakan. Berikut rangkuman %penyisihan air limbah tahu beserta sumber yang tertera:

Tabel 2.9 Persen Penyisihan Unit Pengolahan Air Limbah

Unit yang Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Saluran Pembawa	-	-	-
<i>Screen</i>	-	-	-
Bak Penampung	-	-	-

Bak Koagulasi-Flokulasi	-	-	-
Bak Pengendap Pertama	BOD dan COD TSS	20 – 40% 50 – 70%	Qasim, 1986
Biofilter Aerobik	BOD COD TSS	90 – 95% 86 – 90% 44 – 75%	Said, 2017 Said, 2005 Said, 2005
<i>Clarifier</i>	BOD dan COD TSS	20 – 40% 50 – 70%	Qasim, 1986
<i>Sludge Drying Bed</i>	-	-	-
<i>Belt Filter Press</i>	-	-	-

Sumber: Literatur tertera

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

A. Kehilangan Tekanan Pada Bangunan

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

B. Kehilangan Tekanan Pada Perpipaan dan Aksesoris

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

1. Kehilangan tekanan pada perpipaan

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

2. Kehilangan tekanan pada aksesoris

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

3. Kehilangan tekanan pada pompa

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

4. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungan juga dengan bantuan monogram.

C. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan sehingga 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 :

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

D. Pompa

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

Tabel 2.10 Jenis-jenis Spesifikasi Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	- Air limbah sebelum

		diolah - Penggunaan lumpur kedua - Pembuangan <i>effluent</i>
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir lumpur, limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, permasalahan zat-zat kimia, pengaliran lambat untuk air dan air buangan
<i>Posite</i>	<i>Screw</i>	Pasir, pengolahan lumpur pertama dan kedua, air limbah pertama
	Diafragma	Permasalahan zat kimia, limbah logam
	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua
	<i>Pneumatic</i>	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

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