

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

Air sungai yang digunakan sebagai air baku mempunyai beberapa karakteristik diantaranya sebagai berikut:

1. Kekeruhan

Kekeruhan merupakan standar yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur kondisi suatu air baku dalam satuan skala NTU (*nephelometrix turbidy unit*) atau FTU (*formazin turbidy unit*). Kekeruhan ini diakibatkan oleh adanya benda yang tercampur atau benda koloid di dalam air. Hal ini membuat perbedaan nyata dari segi estetika maupun dari segi kualitas air baku itu sendiri. Kekeruhan juga dapat disebabkan karena adanya kandungan TSS (*total suspended solid*) baik yang bersifat organik maupun anorganik (Permenkes RI, 2010). Zat organik dapat berasal dari lapukan tanaman dan hewan, sedangkan zat anorganik biasanya dapat menjadi makanan bakteri sehingga mendukung perkembangannya. Kekeruhan dalam air tidak boleh melebihi 5 NTU. Penurunan dalam kekeruhan ini diperlukan karena selain ditinjau dari segi estetika yang kurang baik juga sebagai proses untuk desinfeksi air keruh sangat susah. Hal ini disebabkan penyerapan beberapa koloid dapat melindungi organisme dari adanya desinfektan yang diberikan (Ninla Elmawati Falabiba et al., 2014).

2. Total Dissolve Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) merupakan padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi. Bahan – bahan terlarut pada perairan alami memiliki sifat yang tidak toksik namun jika berlebihan akan meningkatkan kekeruhan yang dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air dan berpengaruh pada proses fotosintesis air. Kadar TDS yang tinggi apabila tidak dikelola dapat mencemari badan air, mematikan kehidupan aquatik, dan memiliki efek samping yang kurang baik pada kesehatan manusia. Kadar TDS yang tinggi mengandung bahan kimia antara lain fosfat, surfaktan, ammonia,

dan nitrogen serta kadar padatan tersuspensi maupun terlarut, kekeruhan, BOD₅, dan COD yang tinggi (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020).

3. Total coliform

Sumber air di alam pada umumnya mengandung bakteri. Jumlah dan jenis bakteri berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya. Air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari harus bebas dari bakteri patogen. Bakteri golongan koliform tidak termasuk bakteri patogen (Cut Khairunnisa, 2012). Koliform termasuk golongan mikroorganisme yang sering digunakan sebagai indikator air. Bakteri ini mampu menentukan apakah suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak (Adrianto, 2018).

4. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) merupakan senyawa berbentuk padat yang tersuspensi berada di dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral-mineral misalnya silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil penguraian jasad makhluk hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. TSS menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017).

TSS adalah bahan tersuspensi yang mengakibatkan kekeruhan air, terdiri dari pasir halus, lumpur, serta jasad-jasad renik yang berasal dari kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003).

5. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dan air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol besar daripada kadar bahan organik. Sebaliknya, perairan rawa memiliki kadar bahan organik yang lebih besar daripada kadar bahan anorganik terlarut (Effendi, 2003).

6. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah bahan organik yang ada pada air limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal tersebut dapat terjadi karena banyak zat organik yang sulit teroksidasi secara biologis, contohnya lignin yang hanya dapat teroksidasi secara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dikromat meningkatkan kandungan organik pada sampel, zat organik tertentu dapat meracuni mikroorganisme yang dibutuhkan untuk pengujian BOD, nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik yang bereaksi dengan dikromat. (Lumaela et al., 2013)

2.2 Standar Kualitas Air Minum

Di Indonesia Standar Kualitas Air Minum dapat dilihat pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Parameter wajib air minum dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1.	<i>Escherihia coli</i>	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
2.	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
Fisik				
3.	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI / APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
4.	<i>Total Dissolve Solid</i>	< 300	mg/L	SNI / APHA
5.	Kekeruhan	< 3	NTU	SNI atau yang setara
6.	Warna	10	TCU	SNI / APHA
7.	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8.	pH	6,5 – 8,5	-	SNI / APHA
9.	Nitrat (sebagai NO ³) (terlarut)	20	mg/L	SNI / APHA
10.	Nitrit (sebagai NO ²) (terlarut)	3	mg/L	SNI / APHA
11.	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI /APHA
12.	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI / APHA
13.	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI / APHA
14.	Sisa khlor (terlarut)	0,2 – 0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI / APHA
15.	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
16.	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI / APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
17.	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
18.	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI / APHA
19.	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI / APHA

Sumber: Permenkes RI No. 2 Tahun 2023

Standar Kualitas Air Baku di Indonesia juga dapat dilihat pada PP No. 22 tahun 2021 pada Lampiran VI Baku Mutu Air Sungai. Kualitas air baku dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

- a. Kelas satu, air yang berfungsi dan dapat dipergunakan untuk air baku air minum dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- b. Kelas dua, air yang berfungsi dan dapat digunakan untuk sarana/prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan tawar, peternakan, air untuk mengairi taman, dan atau untuk kegunaan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi taman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

No.	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Ket.
1.	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu di atas permukaan air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000	Tidak berlaku untuk muara
3.	Padatan tersuspensi total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alaminya)

No.	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Ket.
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl^-)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total Fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-	
16.	Flourida (F)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belarang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	

No.	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Ket.
18.	Sianida (CN ⁻)	mg/L	0,02	0,002	0,002	-	
19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0	
22.	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29.	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	

No.	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Ket.
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33.	Kromium heksavalen (Cr-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/Dieldrin	$\mu\text{g/L}$	17	-	-	-	
38.	BHC	$\mu\text{g/L}$	210	210	210	-	
39.	Chlordane	$\mu\text{g/L}$	3	-	-	-	
40.	DDT	$\mu\text{g/L}$	2	2	2	2	
41.	Endrin	$\mu\text{g/L}$	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	$\mu\text{g/L}$	18	-	-	-	
43.	Lindane	$\mu\text{g/L}$	56	-	-	-	
44.	Methoxychlor	$\mu\text{g/L}$	35	-	-	-	
45.	Toxapan	$\mu\text{g/L}$	5	-	-	-	
46.	Fecal Coliform	MPN / 100 mL	100	1.000	2.000	2.000	

No.	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Ket.
47.	Total Coliform	MPN / 100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000	
48.	Sampah		nihil	nihil	nihil	nihil	
49.	Radioaktivitas						
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1	

Sumber : Lampiran VI PP No. 22 Tahun 2021

2.3 Bangunan Pengolahan Air Minum

Rancangan proses pengolahan air permukaan menjadi air minum disesuaikan dengan karakteristik umum air permukaan. Air permukaan yang diolah menjadi air minum yaitu air sungai. Karakteristik umum air sungai adalah terdapat kandungan partikel tersuspensi atau koloid. Unit pengolahan air sungai terdiri dari :

1. Intake
2. Aerasi
3. Koagulasi – flokulasi
4. Sedimentasi
5. Filtrasi
6. Desinfeksi
7. Reservoir

2.3.1 Intake dan Screen

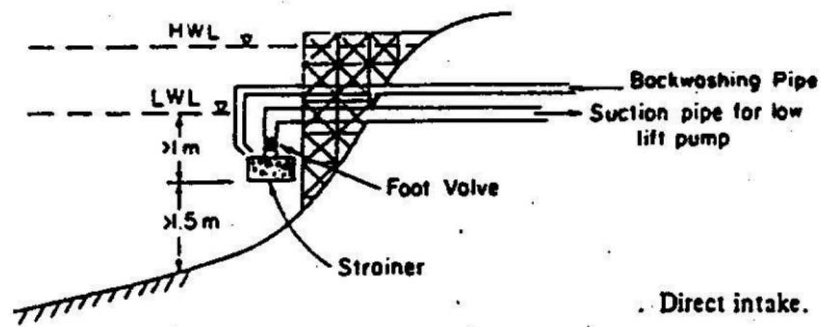
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, *intake* adalah bangunan penangkap air atau tempat air masuk sungai, danau, atau sumber lainnya. Kapasitas bangunan *intake* yang digunakan harus disesuaikan dengan

kebutuhan air harian maksimum. Persyaratan lokasi penempatan bangunan pengambilan (*intake*):

1. Penempatan bangunan penyadap (*intake*) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain).
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain – lain).
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (*up-lift*).
4. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya.
5. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian.
6. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air.
7. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku.
8. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (*lifetime*) minimal 25 tahun.
9. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material local atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

Menurut Kawamura (2000), bangunan intake memiliki tipe yang beragam antara lain:

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*)
Digunakan untuk sumber air seperti sungai atau danau dengan kedalaman yang cukup tinggi. *Intake* jenis ini dapat memungkinkan terjadinya erosi pada dinding dan pengendapan di bagian dasarnya.



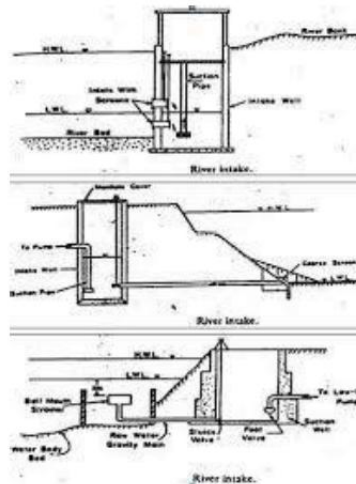
Gambar 2. 1 Direct Intake

Sumber: Kawamura, 2000

2. Bangunan Penyadap Tidak Langsung (*Indirect Intake*)

a. *River Intake*

Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Intake ini lebih ekonomis untuk air sungai yang mempunyai perbedaan level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi.

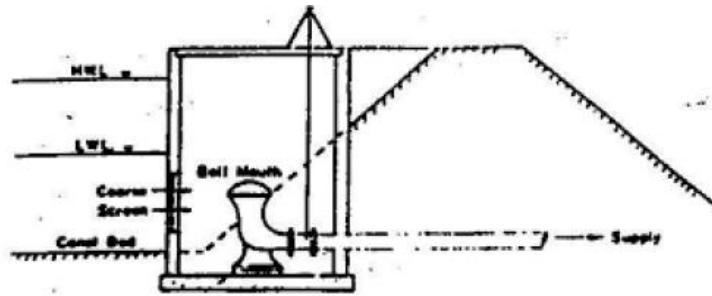


Gambar 2. 2 River Intake

Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007

b. *Canal Intake*

Digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding chamber sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.

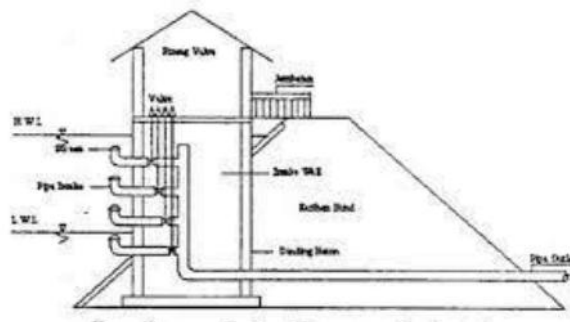


Gambar 2. 3 Canal Intake

Sumber: Kawamura, 2000

c. *Reservoir Intake*

Digunakan untuk air yang berasal dari bendungan dan mudah menggunakan menara intake. Menara intake dengan bendungan dibuat terpisah dan diletakkan di bagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.



Gambar 2. 4 Reservoir Intake

Sumber: BPPSPAM. 2009

Pada perancangan bangunan pengolahan air minum kali ini menggunakan *indirect intake* (bangunan penyadap tidak langsung) dengan tipe yang digunakan adalah *river intake*. Tipe ini mempunyai nilai yang lebih ekonomis untuk peruntukkan air baku dari air sungai dibandingkan dengan tipe – tipe *intake* lainnya.

Dapat dinilai lebih ekonomis karena air sungai mempunyai level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang berbeda cukup tinggi. Sedangkan untuk *screen*, pada perancangan ini akan menggunakan *coarse screen*. *Screen* bertujuan untuk menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat

merusak dan menyumbat aliran air, pipa, dan pompa. Pemilihan *coarse screen* merupakan pilihan tepat dikarenakan dapat menghilangkan benda – benda berukuran besar yang memiliki ukuran 6 – 150 mm.

Tabel 2. 3 Koefisien Kekasaran Pipa Hazen-Williams

Jenis Pipa	Nilai Kekasaran Pipa (C)
<i>Extremely smooth and straight pipes</i>	140
<i>New steel or cast iron</i>	130
<i>Wood, Concrete</i>	120
<i>New Riveted Steel; vitrified</i>	110
<i>Old Cast Iron</i>	100
<i>Very Old and Corroded Cast Iron</i>	80

Sumber: Evett & Liu, 1987

Tabel 2. 4 Nilai k untuk Kehilangan Energi

Valve, Fittings, and Specials	K value
<i>Entrance, suction bell (32 in) 81 cm</i>	0,004
<i>90° elbow (24 in) 61 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (24 in) 61 cm</i>	0,19
<i>Reduce (14 in) 35,5 cm</i>	0,25
<i>Check valve (20 in) 51 cm</i>	2,5
<i>90° elbow (20 in) 51 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (20 in) 51 cm</i>	0,19
<i>Tee (20 in x 20 in) 50 cm x 50 cm</i>	1,8

Sumber: Qasim, 2000

Tabel 2. 5 Faktor Minor Losses Bar

Bentuk Bar	Nilai Minor Losses (β)
Shaped edge rectangular	2,42
Rectangular with semicircular up stream face circular	2,83

Circular	1,79
Rectangular with semicircular upstream and downstream face	1,67
Tear Shape	0,76

Sumber: Qasim, 2000

Selanjutnya pada screening 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 $>0,5 - 1\text{ cm}$ sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit 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). Saringan kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabel 2. 6 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	23 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
Parameter lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
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	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

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

2.3.2 Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penambahan udara/oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara (air ke dalam udara) atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air (udara ke dalam air). Perpindahan gas dari atmosfer ke air (penambahan oksigen terlarut) akan meningkatkan oksidasi besi, mangan, dan logam lain ke tingkat oksidasi yang lebih tinggi dan lebih tidak larut. Endapan ini akan menjadi dibuang di bak sedimentasi dan unit filtrasi (Droste, 1997). Aerasi merupakan proses pengolahan dimana air dibuat mengalami kontak erat dengan udara dengan tujuan meningkatkan kandungan oksigen dalam air tersebut. Dengan meningkatnya oksigen zat-zat mudah menguap seperti *hydrogen sulfide* dan *methana* yang mempengaruhi rasa dan bau dapat dihilangkan. Aerasi secara luas telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan jumlah besi dan mangan terlalu tinggi zat tersebut memberikan rasa pahit pada air, menghitamkan pemasakan beras dan memberikan noda hitam kecoklat-coklatan pada pakaian yang dicuci (Yuniarti et al., 2019).

Tujuan proses aerasi adalah mengontakkan semaksimal mungkin permukaan cairan dengan udara guna menaikkan jumlah oksigen yang terlarut di dalam air buangan sehingga berguna bagi kehidupan mikroorganisme. Agar perpindahan sesuatu zat atau komponen dari satu medium ke medium yang lain berlangsung lebih efisien, maka yang terpenting adalah terjadinya turbulensi antara

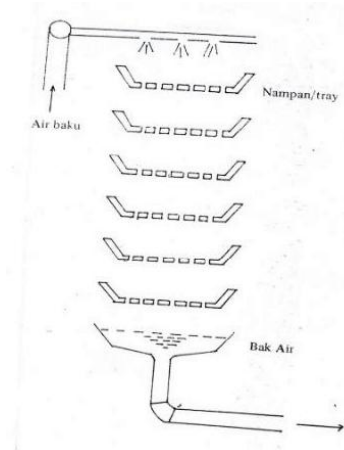
cairan dengan udara, sehingga tidak terjadi *interface* yang stagnan diantara cairan dan udara yang dapat menyebabkan laju perpindahan terhenti (Asadiya, 2018).

Oksigen yang berada di udara, melalui proses aerasi ini akan selanjutnya akan bereaksi dengan senyawa ferus dan manganous terlarut merubah menjadi ferri (Fe) dan manganic oxide hydrate yang tidak bisa larut. Setelah itu dilanjutkan dengan pengendapan (sedimentasi) atau penyaringan (filtrasi).

Jenis – jenis aerator, adalah sebagai berikut :

1. *Waterfall aerator*

Waterfall aerator ini terdiri dari 4 tray yang disusun secara vertikal dimana jarak tray satu dengan tray lainnya masing – masing 30 cm dengan luas ukuran tray 40 cm, panjang tray 30 cm, dan tinggi 13 cm. Dalam proses ini air dialirkan dari keran melalui selang, dimana air jatuh dari tray pertama atau yang paling atas hingga ke tray ke empat dalam waktu 20 menit dengan banyak air baku yaitu 20 liter, dengan kecepatan aliran 1 menit/liter. Aliran air jatuh tetes demi tetes dengan gravitasi yang melewati setiap nampan yang berlubang. Disinilah tetesan air mempunyai kesempatan untuk kontak dengan udara dengan luas tray 40 cm x 30 cm x 13 cm dengan jarak setiap tray 30 cm sehingga terjadi proses oksidasi terbentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})^3$. Kelebihan dalam proses pembuatan metode *waterfall aerator* ini tidak membutuhkan banyak biaya dan cara pembuatannya sangat sederhana. Metode *waterfall aerator* ini juga memiliki pengaruh besar dalam penurunan kadar besi (Fe), hal ini dikarenakan banyaknya udara yang kontak dengan air melalui percikan-percikan kecil dari setiap dasar tray yang dilalui (Munthe et al., 2018).

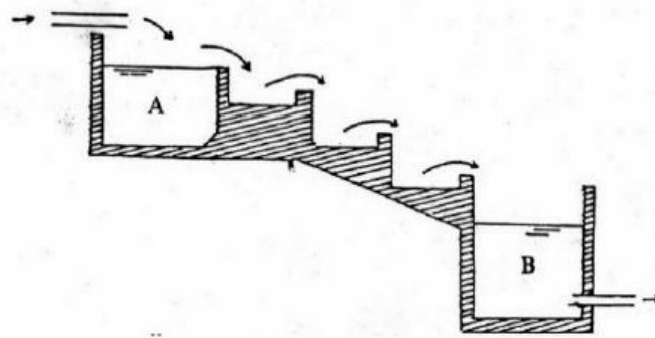


Gambar 2. 5 Waterfall Aerator

Sumber: <http://informasikesling.blogspot.com/2016/10/aerasi-pengertian-tujuan-berbagai.html>

2. *Cascade Aerator*

Cascade aerator merupakan salah satu dari tipe *gravity aerator* yaitu jenis aerasi yang cara kerjanya berdasarkan daya gravitasi. Air yang akan diaerasi akan mengalir secara gravitasi karena beda ketinggian dari step satu ke step yang lain. Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira 0,01 m³/detik per m² untuk menghilangkan putaran (turbulen) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering ditepi peralatan pada setiap step. Keuntungan *cascade aerator* ini adalah tidak memerlukan perawatan. Dibanding dengan *tray aerator*, ruang (tempat) yang diperlukan bagi *cascade aerators* agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah (Hartini, 2012).

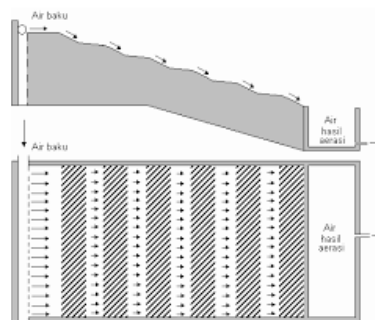


Gambar 2. 6 Cascade Aerator

Sumber: <http://informasikesling.blogspot.com/2016/10/aerasi-pengertian-tujuan-berbagai.html>

3. *Submerged Cascade Aerator*

Aerasi tangga seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara kedalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 0,5 m³/det per meter luas.

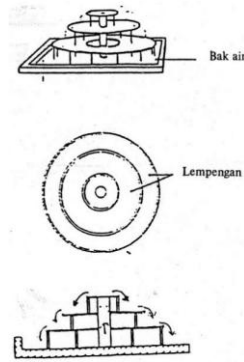


Gambar 2. 7 Submerged Cascade Aerator

Sumber: <http://repo.poltekkesdepkes-sby.ac.id/3530/13/12.%20BAB%202.pdf>

4. *Multiple Platform Aerator*

Multiple platform aerator merupakan suatu proses aerasi dengan menjatuhkan air dari lempengan yang berbentuk lingkaran dan disusun secara vertikal dengan diameter paling kecil hingga paling besar. Pada saat air jatuh dari lempengan satu ke lempengan yang lain maka akan terjadi kontak dengan udara sehingga terdapat reaksi oksidasi yang menghasilkan endapan logam.

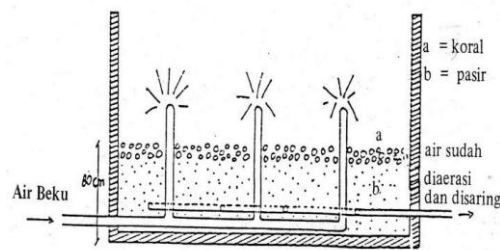


Gambar 2. 8 Multiple Platform Aerator

Sumber: <http://informasikesling.blogspot.com/2016/10/aerasi-pengertian-tujuan-dan-berbagai.html>

5. *Spray Aerator*

Spray aerator merupakan aerator yang dapat menghasilkan semprotan air, sehingga air yang keluar berbentuk butiran. Hal ini akan sangat menguntungkan ketika air yang dihasilkan semakin kecil, karena dengan butiran yang kecil ke permukaan air yang dihasilkan akan kontak langsung dengan udara semakin luas. *Nozzle spray* aerator merupakan jenis *spray aerator* yang lain yaitu menggunakan pipa yang dilubangi secara teratur dengan semprotan keatas. Untuk menghindari kemacetan, lubang nozzle (pipa) sebaiknya berukuran lebih dari 5 mm.



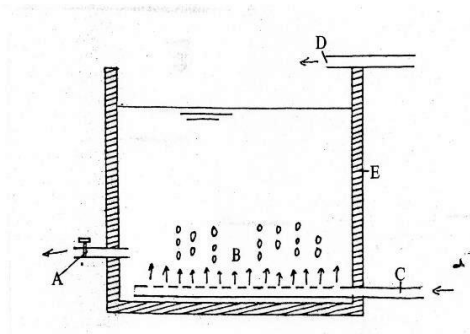
Gambar 2. 9 Spray Aerator

Sumber: <http://informasikesling.blogspot.com/2016/10/aerasi-pengertian-tujuan-dan-berbagai.html>

6. *Bubble Aerator*

Jumlah udara yang dibutuhkan untuk aerasi gelembung udara tidak lebih dari 0,3 - 0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah dapat dinaikan melalui

suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan dari dasar bak air yang digunakan.



Gambar 2. 10 Bubble Aerator

Sumber: <http://informasikesling.blogspot.com/2016/10/aerasi-pengertian-tujuan-dan-berbagai.html>

7. *Multiple Tray Aerator*

Aerator jenis ini memiliki susunan yang sederhana, ekonomis dan tidak membutuhkan ruangan yang luas. Terdiri dari 4-8 tray dengan penataan vertikal maupun *pyramid*. Bahan pembuat tray dapat berupa semen, asbes, plastic PVC, logam, kayu. Pemerataan sebaran air dilakukan dengan pengisian kerikil kasar dengan ketebalan ± 10 cm di dalam tray. Isian juga dapat berupa lapisan batu apung atau arang yang berperan sebagai katalisator dan meningkatkan penggumpalan besi dalam air. Menurut ASCE & AWWA (1997) jarak antar tray biasanya adalah 20-75 cm dan debit sebesar 50-75 m³/hari. Sementara menurut (Popel, 1974), variasi jarak antar tray berkisar 30-43 cm dengan media berukuran 2,5-15 cm.

Air dialirkan dari puncak berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (tray) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (*collecting ponds*). Pemerataan distribusi air diatas tray sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 26-inch (5-15 cm) adalah sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalis dari mangan oksida. *Multiple tray aerator* harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan yang terdapat

pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang, karena terjadi kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan atau unsur-unsur tertentu yang ingin dihilangkan.

Desain dan karakteristik operasional aerator dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000), sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi: Cascade	20 – 45% CO ₂	- Tinggi 1 – 3 m - Luas 85 – 105 m ² /m ² .det - Kecepatan aliran 0,3 m/det
Packing tower	>95% VOC >90% CO ₂	- Diameter kolom maksimum 3 m - Beban hidrolik 2000 m ³ /m ² .hari
Tray	>90% CO ₂	- Kecepatan 0,8 – 1,5 m ³ /m ² .menit - Kebutuhan udara 7,5 m ³ /m ³ .air - Jarak rak (tray) 30 – 75 cm - Luas 50 – 160 m ² /m ³ .detik
Spray aerator	70 – 90% CO ₂ 25 – 40 H ₂ S	- Tinggi 1 – 2,9 m - Diameter nozzle 2,5 – 4 cm - Jarak nozzle 0,6 – 3,6 m - Debit nozzle 5 – 10 l/det
Aerator Berdifusi	80% VOC	- Luas bak 105 – 320 m ² /m ³ .detik - Tekanan semprotan 70 kPa - Waktu detensi 10 – 30 menit - Udara 0,7 – 1,1 m ³ /m ² .air - Tangki kedalaman 2,7 – 4,5 m - Lebar 3 – 9 m - Lebar/kedalaman <2 - volume Maksimum 150 m ³ - Diameter lubang diffuser 2 – 5 mm

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Mekanis	70 – 90% CO ₂ 25 – 40 H ₂ S	- Waktu detensi 10 – 30 menit - Kedalaman tangki 2 – 4 m

Sumber: Qasim et al., 2000

2.3.3 Koagulasi

Koagulasi merupakan sebuah proses pengolahan air yang mana terdapat padatan yang digabungkan dengan koloid dan membentuk flok dengan penambahan bahan kimia yang disebut koagulan. Koagulasi memiliki tujuan mengubah padatan yang ada dalam bahan baku air yang pada awalnya sulit mengendap menjadi mudah untuk diendapkan. Koagulan merupakan bahan kimia yang berfungsi untuk menggumpalkan partikel yang tersuspensi, zat warna, koloid sehingga membentuk gumpalan partikel (Susanto, 2008).

Proses koagulasi dengan cara menambahkan koagulan dengan air limbah yang kemudian terjadi proses pengadukan yang cepat sehingga membentuk flok yang homogen. Pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan antara 80 – 150 rpm dengan waktu 10 – 60 detik. Pada proses koagulasi terjadi pemisahan partikel koloid karena adanya penambahan elektrolit yang diserap oleh partikel koloid sehingga memiliki muatan yang netral (Faryandi, 2020).

Tabel 2. 8 Jenis – Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan air	pH Optimum
Aluminium sulfat	Al ₂ (SO ₄) ₃ .X H ₂ O x = 14, 16, 18	Bongkah, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium aluminate	Na ₂ Al ₂ O ₄	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium chloride, PAC	Aln(OH)mCl ₃ n-m	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7.8
Ferric sulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	Kristal halus	Asam	4,0 – 9,0

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan air	pH Optimum
Ferri klorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, cairan	Asam	4,0 – 9,0
Ferro sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	>8,5

Sumber: Sugiarto, 2006

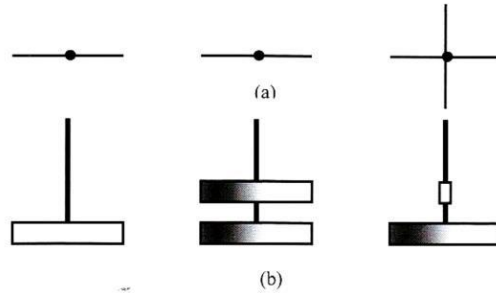
Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam besi. Terkadang koagulan (seperti polielektrolit) diperlukan untuk menghasilkan flok yang lebih besar sehingga padatan tersuspensi bisa mengendap lebih cepat (Masduqi & Assomadi, 2012). Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak bisa diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan koagulan dengan dosis yang tinggi pula. Jika kekeruhan pada air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan dosis koagulan yang banyak (Sutrisno, 1992).

Faktor yang mempengaruhi koagulan yakni :

- Temperatur
- Dosis koagulan
- pH
- Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang banyak.
- Kecepatan pengadukan
- Pengaruh garam

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan menggunakan tiga cara yaitu pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, peralatan yang digunakan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam alat

pengaduk yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T .



Gambar 2. 11 Tipe Paddle (a) Tampak atas (b) Tampak samping

Sumber: Maduqi & Assomadi, 2012



Gambar 2. 12 Tipe Turbin

Sumber: Qasim et al., 2000



Gambar 2. 13 Tipe Propeller

Sumber: Qasim et al., 2000

Tabel 2. 9 Nilai waktu pengadukan mekanis dan gradient kecepatan

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

Sumber: Reynolds & Richard, 1996:184

Tabel 2. 10 Kriteria Impeller

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

Sumber: Reynolds & Richard, 1996:185

Tabel 2. 11 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1,3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), Di/Wi=4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=8	33,0	1,15

Jenis Impeller	K _L	K _T
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi=6	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, Di/Wi=8	71,0	3,82

Sumber: Reynolds & Richard, 1996,188

2.3.4 Flokulasi

Flokulasi yakni proses pembentukan flok – flok yang besar dengan penambahan flokulan yang nantinya dapat disisihkan dan disaring (Susanto, 2008). Flokulasi merupakan sebuah proses dengan mengadakan kontak antara partikel koloid yang mengalami destabilisasi pada proses koagulasi sebelumnya sehingga ukuran partikel bisa bertambah lebih besar (Faryandi, 2020). Pada proses flokulasi terjadi penyatuan flok yang terbentuk dari proses koagulasi menjadi lebih besar. Proses flokulasi terjadi pengadukan lambat sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan. (Lolo et al., 2020).

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

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

- Mikroflokulasi terjadi ketika partikel teragregasi karena termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut *Brownian Motion*. Mikroflokulasi terjadi pada partikel yang kecil (kurang dari 0,1 μm).
- Makroflokulasi terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien kecepatan sehingga menyebabkan tabrakan antara partikel tersuspensi.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan camp) berkisar 48.000 hingga 210.000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah :

1. Air sungai
 - Waktu detensi = minimum 20 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
2. Air waduk
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 75 \text{ detik}^{-1}$
3. Air keruh
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Menggunakan koagulan garam besi
 - G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 - G kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G kompartemen 2 : 40% dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3 : nilai terkecil
6. Penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
 - Waktu detensi = 15 – 30 menit
 - $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$ - $GTd = 10.000 - 100.000$ (Masduqi & Assomadi, 2012: 110)

2.3.5 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam suatu cairan. Proses ini umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah :

- a. Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat

- b. Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- c. Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan chlorine.
- d. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

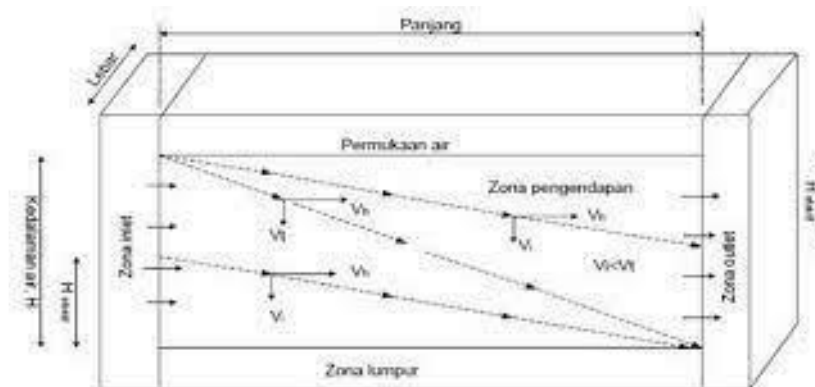
Proses pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi terbagi menjadi empat kelas. Pembagian ini berdasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah :

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

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona, yaitu :

- a. Zona inlet
- b. Zona outlet
- c. Zona settling
- d. Zona sludge

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



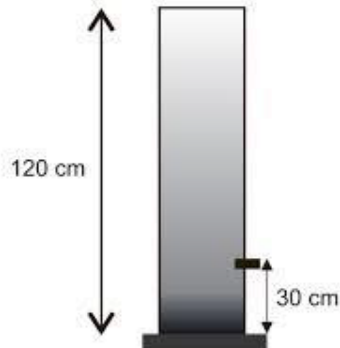
Gambar 2. 14 Zona pada Bak Sedimentasi

Sumber: Sarah Az-Zahra, 2013

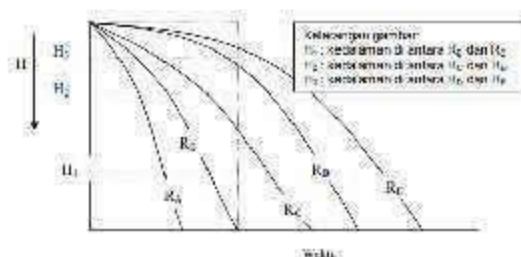
Pada setiap zona terjadi proses sebagai berikut :

1. Zona inlet, terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)
2. Zona settling, terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
3. Zona sludge, sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.
4. Zona outlet, pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

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



Gambar 2. 15 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2. 16 Grafik Iso-removal

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman H1, H2, H3. Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

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

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

Kedua grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (td) dan *overflow rate* (Vo) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara batch). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor *scale up*. Untuk waktu detensi, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk *overflow rate*, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynolds & Richards, 1982). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan :

a. *Horizontal-flow Sedimentation*

Desain yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi panjang yang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara

tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang *circular* biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik. Cara kerja bak sedimentasi bentuk *rectangular* (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui *baffle*/sekat agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan *supernatant* (airnya) keluar melalui zona outlet. Beberapa keuntungan *horizontal flow* dibandingkan dengan *up flow* adalah lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air:

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

b. *Upflow Sedimentation*

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil. Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air semakin besar (Sugiharto, 2008). Pengotoran air mengandung bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau. Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan organik, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan. Dengan berkurangnya bahan organik terlarut akan menyebabkan berkurangnya

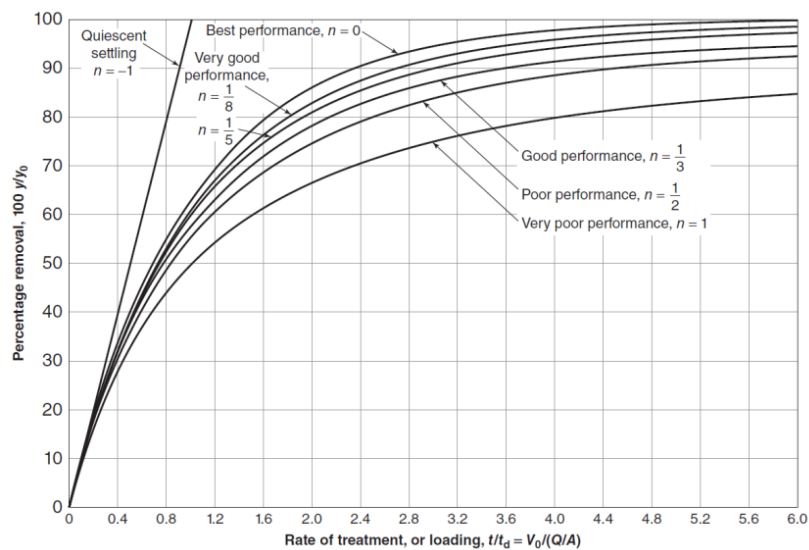
oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut sehingga nilai BOD akan menurun. Menurut Metcalf & Eddy (2003), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80%. Efisiensi pengendapan partikel flokulan dipengaruhi oleh *overflow rate*, *detention time* dan kedalaman bak pengendap. Pengaruh dari faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

- *Detention time* (t)
- *Overflow rate*

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

- Kedalaman air = 3 – 4,5 m
- Kecepatan aliran = 0,3 – 1,7 m/min
- Waktu detensi = 1,5 – 4 jam
- *Surface loading* = 1,25 – 2,5 m/jam
- Panjang/lebar = minimum $\frac{1}{4}$
- Kedalaman air/panjang = minimum $\frac{1}{15}$
- *Weir loading rate* = 9 – 13 m³/m.jam

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



Gambar 2. 17 Grafik Kecepatan Pengendapan Partikel pada Sedimentasi

Grafik Shammam, 2016. Halaman 448

2.3.6 Filtrasi

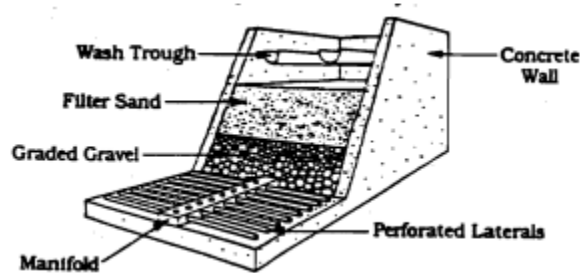
Menurut Al-Layla pada tahun 1980, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan proses filtrasi. Proses filtrasi sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang terjadi di dalam proses filtrasi itu sendiri. Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah :

- Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter.
- Proses sedimentasi di dalam filter
- Kontak antara partikel flock dengan lapisan kerikil atau dengan flock yang sudah terkumpul di atas lapisan filter

- d. Proses adsorpsi atau proses elektrokinetik
- e. Proses koagulasi di dalam filter
- f. Proses biologis di dalam filter
- g. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukurannya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. Namun jika ukuran partikel terlalu kecil (contohnya : partikel koloid dan bakteri) akan lebih sulit untuk dihilangkan karena akan lebih mudah lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Namun dapat juga digunakan oleh partikel-partikel flok yang belum seratus persen terendapkan pada bak sedimentasi untuk mengendap pada lapisan kerikil ini.



Gambar 2. 18 Bagian – bagian filter

Sumber: Reynolds & Richard, 1996

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain *rapid sand filter*, *slow sand filter*, *pressure sand filter*, *multiple media filters*, *diatomaceous earth filters*, *upflow filters* dan lain sebagainya. Menurut Al-Layla pada tahun 1980, pada proses purifikasi air, *rapid sand filters* memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara $4-5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,450,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*.

Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari *head loss filter* saat itu (Al-Layla, 1978).

Keuntungan menggunakan *rapid sand filters* adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Sedangkan kekurangan dari *rapid sand filters* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrazit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan. *Effective Size* (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari rasio ukuran rata-rata dan standar deviasinya (Al-Layla, 1978).

Uniformity Coefficient (UC) atau koefisien keragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60 % fraksi berat terhadap ukuran (size). Kriteria untuk keperluan *rapid sand filter* adalah :

Single media pasir : $UC = 1,3 - 1,7$
 $ES = 0,45 - 0,7 \text{ mm}$
Untuk dual media : $UC = 1,4 - 1,9$
 $ES = 0,5 - 0,7 \text{ mm}$

Pada perancangan bangunan air minum kali ini, kami menggunakan filter pasir cepat atau *rapid sand filter* adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 6 hingga 11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika

kekeruhan pada influen filter pasir cepat berkisar 5-10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi & Assomadi, 2019).

Tabel 2. 12 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antarsaringan
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 – 11	6 – 11
2.	Pencucian: Sistem pencucian Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antar dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50
3.	Dasar filter a. Lapisan penyangga dari atas ke bawah - Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) - Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) - Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) - Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) b. Filter nozel - Lebar slot nozel (mm) - Persentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	 80– 100 2 – 5 80-100 5-10 80-100 10-15 80-150 15-30 <0,5 >4%	 80– 100 2 – 5 80-100 5-10 80-100 10-15 80-150 15-30 <0,5 >4%

Sumber: SNI 6774-2008

Setelah digunakan dalam kurun waktu tertentu, filter akan mengalami penyumbatan akibat tertahannya partikel halus dan koloid oleh media filter. Tersumbatnya media filter ditandai oleh :

- Penurunan kapasitas produksi
- Peningkatan kehilangan energy (headloss) yang diikuti oleh kenaikan muka air di atas media filter
- Penurunan kualitas produksi

Tujuan pencucian filter adalah melepaskan kotoran yang menempel pada media filter dengan aliran ke atas (*upflow*) hingga media terekspansi. Umumnya tinggi sebesar 15 – 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 – 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter yaitu :

- Menggunakan menara air
- Interfilter

2.3.7 Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, yaitu air harus bebas dari mikroorganisme patogen. Desinfeksi merupakan proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme, yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme. Sedangkan metode disinfeksi secara kimiawi adalah memberikan bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme yang berakibat matinya mikroorganisme tersebut.

Desinfeksi secara kimia menggunakan larutan kaporit, gas klor, dan gas ozon. Sedangkan disinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan disinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon, dan Kalium Permanganat.

Kemampuan disinfeksi dalam pengolahan air minum adalah :

1. Menghilangkan bau

2. Mematikan alga
3. Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat
4. Mengoksidasi ammonia menjadi senyawa amin
5. Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah :

1. Waktu kontak
2. Konsentrasi desinfeksi
3. Jumlah mikroorganisme
4. Temperatur air
5. pH

Calcium Hypochlorite ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) umum disebut pula kaporit. Di Indonesia untuk mendesinfektir air minum banyak digunakan kaporit sebagai desinfektan, terutama oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). bila kaporit dilarutkan ke dalam air maka akan menghasilkan atom-atom zat asam. Atom-atom zat asam inilah yang sebenarnya aktif membunuh bakteri-bakteri, karena bakteri-bakteri dioksidir (di “ bakar “). Bakteri-bakteri juga mempunyai enzya dan oleh atom-atom zat asam enzya dioksidir sehingga bukan saja enzya tapi seluruh sel bakteri rusak. Karena rusak bakteri-bakteri pun mati. Menurut Mursid, 1991, kaporit lebih sering dipergunakan dari pada CaOCl_2 (*Chloride of Lime*), karena sifatnya yang lebih stabil dan lebih melarut dalam air. Kaporit berupa bubuk dan bersifat higroskopis, karena itu menyimpan kaporit harus ditutup rapat (Ali, 2010). Kalsium Hipoklorit atau yang sering dikenal dengan kaporit merupakan senyawa klor berbentuk bubuk atau tablet. Kaporit bila ditambahkan ke dalam air akan terhidrolisis menghasilkan ion klor dan asam hipoklorit (Komala & Agustina, 2014).

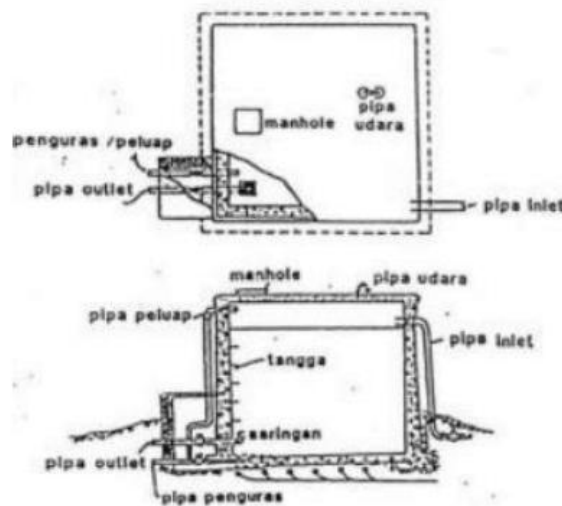
2.3.8 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu sistem penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan

baik. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengan debit pemakaian air. Pada saat jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air. Berdasarkan tinggi relative reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Reservoir Permukaan

Reservoir permukaan adalah reservoir yang sebagian besar atau seluruh reservoir tersebut terletak di bawah permukaan tanah.



Gambar 2. 19 Reservoir Permukaan

Sumber: BPSDM PU

2. Reservoir Menara

Reservoir Menara adalah reservoir yang seluruh bagian penampungan dari reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan tangki sekitarnya.



Gambar 2. 20 Reservoir Menara

Sumber: BPSDM PU

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksi, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Reservoir Tanki Baja

Banyak reservoir menara dan “*standpipe*” atau reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.



Gambar 2. 21 Reservoir Tanki Baja

Sumber: <https://pdamtirtamountala.com/wp-content/uploads/2018/05/Reservoir-Mata-Ie.jpeg>

2. Reservoir Beton Cor

Tanki dan reservoir beton pertama kali dibuat tanpa penutup. Perkembangan selanjutnya konstruksi ini memakai penutup dari kayu atau beton. Dengan tutup ini maka masalah sanitasi akan terselesaikan. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Kelemahan umum dari bahan beton adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.



Gambar 2. 22 Reservoir Beton Cor

Sumber: <https://readymix.co.id/aplikasi-dan-fungsi-ground-tank-betonberikutpemeliharaan/>

3. Reservoir fiberglass

Penggunaan fiberglass sebagai bahan untuk membuat reservoir memiliki beberapa kelebihan seperti ringan, tekstur dinding tanki kaku dan terlihat kuat. Namun dari kelebihan yang dimiliki, adapun kekurangan yang dimiliki yaitu rentan terhadap benturan dan dinding tanki mudah retak, tidak tahan terhadap UV dan oksidasi bila terjemur sinar matahari



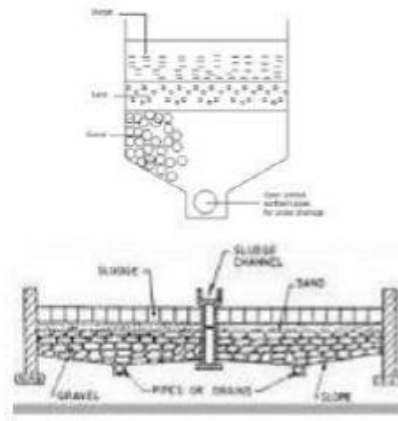
Gambar 2. 23 Reservoir Fiberglass

Sumber: <https://fiberglassbandung.com/harga-ground-water-tank/>

2.3.9 Sludge Drying Bed

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / *sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan. Lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan *open joint*) (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 24 Sludge Drying Bed

Sumber: Metcalf and Eddy, 2007

Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering.

Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah *sludge* mengering. Lumpur yang mengering memiliki ciri yaitu permukaan terlihat retak, mudah hancur dan berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila lumpur telah dikeruk menggunakan *scrapper* atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Daya tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{tahun}$). Data tipikal untuk variasi lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini:

Tabel 2. 13 Kebutuhan Luas Lahan Tipikal untuk Reaktors SDB

Tipe Biosolid	Luas Lahan		Sludge Loading Rate	
	$\text{Ft}^2/\text{person}$	$\text{Km}^2/\text{person}$	lb lumpur kering/ $\text{ft}^2 \cdot \text{tahun}$	Kg lumpur kering/ $\text{m}^2 \cdot \text{tahun}$
<i>Primary Digested</i>	1 – 1,5	0,1	25 – 30	120 – 150
Humus <i>Tricking Filter</i>	1,25 – 1,75	0,12 – 0,16	18 – 25	90 – 120
Lumpur <i>Activated Sludge</i>	1,75 – 2,5	0,16 – 0,23	12 – 20	60 – 100
Lumpur Presipitasi Kimia	2 – 2,5	0,19 – 0,23	20 – 33	100 – 160

2.4 Persen Removal

Tabel 2. 14 Kapasitas Removal

Jenis Bangunan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Intake	-	-	-
Prasedimentasi	Kekeruhan	65 – 80%	Reynold/Richard 2nd, Unit Operation and Processess in Environmental Engineering, hal 316

Jenis Bangunan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
Aerasi	BOD	90% - 99%	Fajrin, Anwari dkk. 2011. Studi Penurunan Kadar BOD, COD, TSS dan pH Limbah Pabrik Tahu Menggunakan Metode Aerasi Bertingkat. Vol 1 No 1
	COD	80% - 90%	Mirwan A, dkk. 2010. Penurunan Kadar BOD, COD, TSS, dan CO ₂ Air Sungai Martapura Menggunakan Tangki Aerasi Bertingkat. Vol. Oktober No. 76,
Koagulasi	-	-	-
Flokulasi	-	-	-
Sedimentasi	Kekeruhan	90%	Droste, Reynold.,1997. Theory and practice of water and Wastewater Treatment, hal 224
	TDS	65%	Reynolds/Richards 2nd, Unit Opereations and Processess in Environmental Engineering, hal 233
	TSS	60% - 90%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treat and Reuse (fourth edition). Republic of China.

Jenis Bangunan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber
			McGraw Hill Companies, Inc. Page 479
Filtrasi	TDS	20%	Droste, Ronald L, 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, hal 225
	TSS	60% - 90%	Yong Sin Sze et.al. 2021. Performance of Sand Filtration System with Different Sand Bed Depth for Polishing Wastewater Treatment. Vol. 9 No. 2. Page 452-457
Desinfeksi	Total Coliform	0 – 100%	Droste, Reynold.,1997. Theory and practice of water and Wastewater Treatment, hal 224 (Coliform 0 - 100%)
Reservoir	-	-	-

2.5 Profil Hidrolisis

Profil hidrolis merupakan faktor penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil hidrolis digambarkan untuk mendapat tinggi muka air pada masing-masing unit. Profil hidrolis menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi tiap unit dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing-masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini.