

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Kabupaten Jember

Kabupaten Jember merupakan salah satu kabupaten yang berada di Provinsi Jawa Timur. Kabupaten Jember Secara geografis terletak diantara 113°15'47" s/d 114°02'35" Bujur Timur dan diantara 7°58'06" s/d 8°33'44" lintang selatan. Kabupaten Jember merupakan bagian dari Provinsi Jawa Timur, terletak ± 200 km ke arah timur dari Surabaya. Luas wilayah kabupaten jember berupa daratan seluas 3.306,689 km² yang terdiri dari 31 kecamatan dan 248 desa/kelurahan. Kondisi topografi kabupaten Jember terdiri dari dataran yang subur pada bagian tengah dan selatan dan dikelilingi pegunungan yang memanjang batas barat dan timur (Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Jember , 2023).

Berdasarkan topografinya Kabupaten Jember dibagi menjadi 4 (empat) golongan dari luas wilayah yaitu 17,95% wilayah berada pada ketinggian 0 sampai 25 meter, 20,70% pada ketinggian 25 sampai dengan 100 m, 15,80% berada pada ketinggian 500 sampai dengan 1.000 m di atas permukaan laut dan 7,80% pada ketinggian lebih dari 1.000 m. Wilayah barat daya memiliki dataran dengan ketinggian 0–25 meter dpl. Sedangkan daerah timur laut yang berbatasan dengan Bondowoso dan tenggara yang berbatasan dengan Banyuwangi memiliki ketinggian di atas 1.000 meter dpl.

Kabupaten Jember memiliki beberapa sungai antara lain Sungai Bedadung yang bersumber dari Pegunungan Iyang di bagian Tengah, Sungai Mayang yang bersumber dari Pegunungan Raung di bagian timur, dan Sungai Bondoyudo yang bersumber dari Pegunungan Semeru di bagian barat.

2.2 Air Baku

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 16 Tahun 2005, bahwa yang dimaksud dengan “Air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum”. Sumber air baku memegang peranan yang sangat penting dalam industri air minum. Air baku atau raw water merupakan awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air bersih. Sumber air baku bisa berasal dari sungai, danau, sumur air dalam, mata air dan bisa juga dibuat dengan cara membendung air buangan atau air laut.

Maka dapat disimpulkan bahwa air baku air minum merupakan air yang berasal dari sumber air yang telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan agar dapat digunakan untuk kegiatan atau aktivitas manusia, baik telah melalui pemrosesan maupun tanpa adanya proses terlebih dahulu.

Standar kualitas air minum di Indonesia telah diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2001 tentang pengolahan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.. Secara fisik air bersih harus jernih, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Jernih dan berarti air bebas atau sedikit sekali tercampur lumpur.

Air menurut kegunaannya digolongkan menjadi 4 (empat) kelas yakni :

Kelas I : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas II : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk

mengairi pertanaman atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas III : Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Kelas IV : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.3 Karakteristik Air Baku

Untuk dapat menentukan kualitas air dapat dilihat dari kandungan yang ada dalam air. Adapun parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas air baku yaitu parameter fisik, kimia dan biologi

Dalam air baku yang digunakan pada kabupaten jember yaitu air permukaan (air Sungai Bedadung) yang mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut :

2.3.1 Bau

Air minum yang berbau selain tidak estetik juga tidak akan disukai oleh masyarakat. Bau air dapat memberikan petunjuk akan kualitas air. Misalnya, bau amis dapat disebabkan oleh tumbuhan algae (Effendi , 2003).

2.3.2 Rasa

Air minum pada umumnya tidak memberikan rasa/ tawar. Air yang berasa dapat memberikan petunjuk bahwa didalamnya terkandung zat-zat yang dapat membahayakan kesehatan. Rasa logam/ amis, rasa pahit, asin (Effendi , 2003).

2.3.3. Suhu

Suhu merupakan besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda. Suhu dapat diukur menggunakan alat bernama termometer dan kalorimeter. Temperatur merupakan suatu ukuran dingin atau panasnya keadaan atau sesuatu lainnya. Satuan ukur dari temperature yang sering digunakan di negara Indonesia yakni °C (derajat celsius) (Ir. Sarsinta, 2008).

2.3.4 Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan adanya kandungan partikel terlarut dalam air baik yang bersifat organik maupun anorganik. Zat organik berasal dari lapukan tanaman dan hewan, sedangkan zat anorganik berasal dari lapukan batuan dan logam. Dengan adanya zat organik pada air dapat menjadi makanan bakteri sehingga mendukung perkembangannya. Kekeruhan dalam air minum tidak boleh melebihi 5 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) (Permenkes RI, 2010)

2.3.5 TSS

Total Suspended Solid (TSS) merupakan materi atau bahan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan air terdiri dari lumpur, pasir halus serta jasad-jasad renik yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003). Zat padat tersuspensi merupakan bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan. Penetrasi cahaya matahari ke permukaan dan bagian yang lebih dalam tidak berlangsung efektif akibat terhalang oleh zat padat tersuspensi, sehingga fotosintesa tidak berlangsung sempurna (Tarumingkeng & Patty, 2019).

Total padatan tersuspensi suatu perairan merupakan material yang halus dalam air yang mengandung lanau, bahan organik, mikroorganisme, limbah industri dan rumah tangga yang dapat diketahui beratnya setelah disaring dengan kertas saring berukuran 0,042 mm (Mustofa, 2017)

2.3.6 TDS

TDS merupakan jumlah padatan yang berasal dari materil-material terlarut yang dapat melewati filter yang lebih kecil daripada 2 μm . Kandungan TDS dalam air juga dapat memberi rasa pada air yaitu air menjadi seperti garam, sehingga jika air yang mengandung TDS terminum, maka akan terjadi akumulasi garam di dalam ginjal manusia, sehingga lama-kelamaan akan mempengaruhi fungsi fisiologis ginjal. Perubahan salinita, perubahan komposisi ion-ion, dan toksisitas masing-masing ion merupakan bahaya dari perubahan dalam konsentrasi TDS. Perubahan yang terjadi dalam salinitas dapat mengganggu keseimbangan biota air, biodiversitas, menimbulkan spesies yang kurang toleran, dan menyebabkan toksisitas yang tinggi pada tahapan hidup suatu organisme (Weber-Scannell, 2007)

2.3.7 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi bahan organik secara kimia. Proses penguraian bahan organik menyebabkan kelarutan oksigen menjadi berkurang. Berkurangnya bahan organik hasil oksidasi COD secara tidak langsung mengindikasikan jumlah bahan organik yang terkandung dalam perairan (Effendi H. , 2003).

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah bahan organik yang ada pada air sungai/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 (Metcalf & Eddy, 2003).

2.3.8 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologis adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses biologis yang benar-benar terjadi dalam air. BOD sebagai ukuran jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh populasi mikroba di perairan sebagai tanggapan terhadap masuknya bahan organik yang terdekomposisi. Dari istilah ini dapat disimpulkan bahwa meskipun nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen, demi kesederhanaan itu juga dapat diartikan sebagai gambaran dari jumlah bahan organik yang dapat terurai secara hayati di perairan (Mays, 1996).

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)

2.3.9 *Phosphate*

Phospat adalah senyawa fosfor yang anionnya mempunyai atom fosfor yang dilengkapi oleh empat atom oksigen yang terletak pada sudut tertrahedron. Phospat total dapat diukur langsung dengan cara kalorimetri atau melalui proses digestasi lebih dahulu sebelum pengukuran sampel. Phospat berada pada air limbah dalam bentuk organik. Sebagai orthophospat anorganik atau sebagai fosfat-fosfat kompleks. Phospat kompleks mewakili kira-kira separuh dari fosfat air limbah perkotaan dan berasal dari penggunaan bahan-bahan detergen sintetis. Phospat kompleks mengalami hidrolisa selama pengolahan biologis menjadi bentuk orthophospat. Dari konsentrasi rata-rata fosfor keseluruhan sebanyak 10mg/L berada dalam air limbah perkotaan, kira-kira 10% dibuang sebagai bahan tak terpakai selama pengendapan primer dan 10% hingga 20% lainnya digabungkan ke dalam sel-sel bakteri selama pengolahan biologis. Sisa yang 70% dari fosfor yang masuk pada umumnya dilepaskan bersama buangan instalasi sekunder (Cunningham, 1992).

Fosfat sangat berguna untuk pertumbuhan organisme dan merupakan faktor yang menentukan produktivitas badan air. Air limbah rumah tangga, industri, dan pertanian menyebabkan pertumbuhan tanaman air yang berlebihan. Selain itu fosfat berada pada sedimen dan lumpur air bersama kehidupan biologis yang berada di atas air. Fosfat merupakan parameter untuk mendeteksi pencemaran air (Sutrisno T, 2002)

2.3.10 Total Coliform

Sumber-sumber air di alam pada umumnya mengandung bakteri, baik air angkasa, air permukaan, maupun air tanah. Jumlah dan jenis bakteri berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya. Air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari haruslah bebas dari bakteri patogen. Bakteri golongan Coliform tidak merupakan bakteri patogen, tetapi bakteri ini merupakan indikator dari pencemaran air oleh bakteri patogen. Apabila air yang mengandung bakteri patogen ini terminum maka dapat menjadi penyakit pada yang bersangkutan. Penyakit tersebut diantaranya kholera, penyakit typhoid, penyakit hepatitis infeksiosa, penyakit disentri basiler (Khairunnisa, Hasan , & Chahaya, 2012)

Menurut Permenkes RI No. 416/Menkes/Per/IX/1990, bakteri Coliform yang memenuhi syarat untuk air bersih bukan perpipaan adalah <50 MPN (*Most Probable Number*)/100 ml sampel, sedangkan kadar maksimum total coliform yang diperbolehkan untuk air minum yang diatur di dalam Permenkes No. 492/menkes/Per/IV/2010 adalah 0 MPN/100 ml sampel.

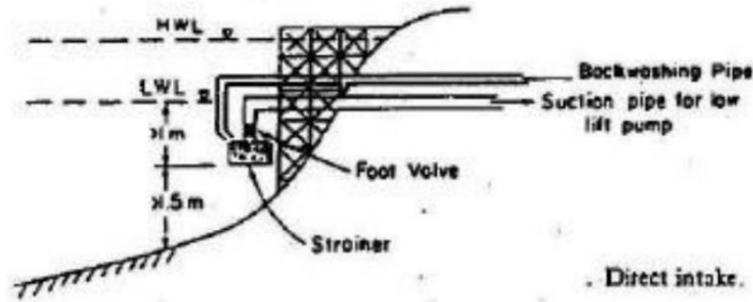
2.4 Bangunan Pengolahan Air Minum

2.4.1 Bangunan Penyadap (*Intake*)

Intake adalah bangunan penangkap air dari sumber air baku yang berasal dari air permukaan (sungai atau danau). Fungsinya adalah untuk mengambil air baku dari air permukaan dan dialirkan ke unit-unit pengolahan. Bangunan intake memiliki tipe bermacam-macam, antara lain (Kawamura, 2000):

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*)

Intake gravitasi adalah bangunan penangkap air dari sumber yang menggunakan prinsip gravitasi. Digunakan untuk sumber air seperti sungai atau danau dengan kedalaman yang cukup tinggi. Intake jenis ini memungkinkan terjadinya erosi pada dinding dan pengendapan di bagian dasarnya.



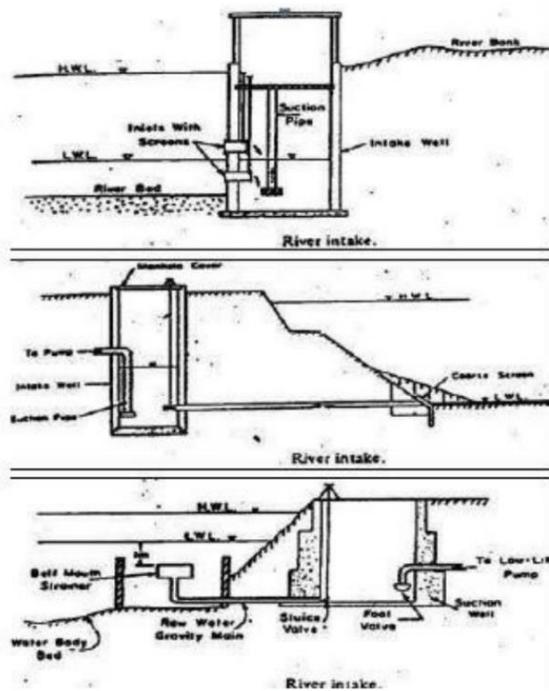
Gambar 2. 1 *Direct Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

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

a. *River Intake*

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.

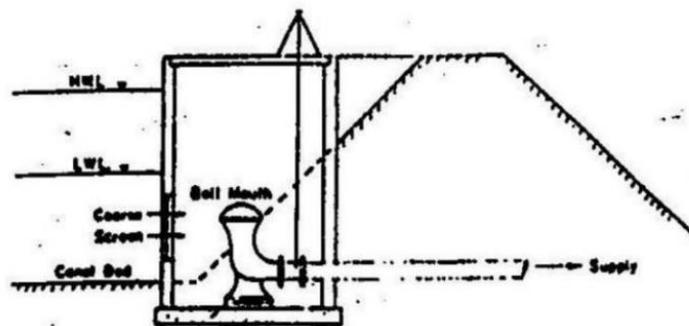


Gambar 2.2 *River Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

b. *Canal Intake*

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

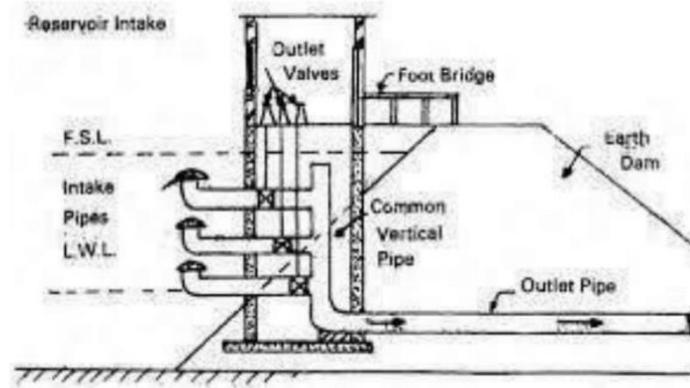


Gambar 2.3 *Canal Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

c. *Reservoir Intake*

Digunakan untuk air yang berasal dari dam (bendungan) dan dengan mudah menggunakan menara intake. Menara intake dengan dam 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: Kawamura, 1991)

Pada tugas perancangan bangunan pengolahan air minum ini yang digunakan adalah River Intake dikarenakan air baku yang digunakan yaitu air baku permukaan yang berasal dari sungai. Persyaratan penempatan lokasi river intake yaitu :

- a. Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
- b. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain lain);
- c. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (up-lift);

- d. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya.
- e. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian.
- f. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air.
- g. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku.
- h. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun.
- i. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

Rumus yang dapat digunakan dalam perhitungan *Intake* dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Mencari debit tiap *intake*

$$Q = \frac{Q \text{ kapasitas Produksi}}{\sum \text{pipa}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: Q = debit (m³/s)
 \sum pipa = jumlah pipa *intake*

2. Mencari luas penampang pipa *intake*

$$A = \frac{Q \text{ pipa intake}}{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan: A = luas penampang (m²)
 Q = debit (m³/s)
 v = kecepatan (m/s)

3. Mencari diameter pipa *intake*

$$D = \left(\frac{4 \times A}{\pi}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan: D = diameter pipa (m)
 A = luas penampang (m²)

4. Rumus umum kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan: v = kecepatan (m/s)
 A = luas penampang (m²)
 Q = debit (m³/s)

5. *Head Losses* mayor sepanjang pipa

$$H_f = \frac{10,67 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan: H_f = headloss mayor (m)
 Q = debit (m³/s)
 L = Panjang pipa (m)
 C = Koefisien kekasaran pipa
 D = diameter pipa (m)

6. *Head Losses* minor (H_m)

$$H_m = \frac{K \times v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan: H_m = minor losses (m)
 K = koefisien kehilangan energi
 v = kecepatan (m/s)
 g = percepatan gravitasi (m²/s)

7. Mencari slope pipa

$$S = \frac{H_f}{L} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan: S = slope pipa (m/m)
 H_f = head losses (m)
 L = Panjang pipa (m/m)

8. Jumlah Kisi pada *bar screen* (n)

$$D = n \times d \times n(n+1) \times r \dots\dots\dots(2,8)$$

- Keterangan: n = jumlah kisi
d = lebar batang kisi (m)
r = jarak antar kisi (m)
D = lebar bar screen (m)

9. Mencari *velocity head* (hv)

$$H_v = \frac{vc^2}{2g} \dots\dots\dots(2.9)$$

- Keterangan: Hv = velocity head
v = kecepatan (m/s)
g = percepatan gravitasi (m²/s)

10. *Headloss* melalui Screen (Hf screen)

$$H_{f\text{screen}} = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} \times hv \times \sin \alpha \dots\dots\dots(2.10)$$

- Keterangan: β = koefisien minor losses (m)
w = lebar bar (cm)
b = jarak antar bar

2.4.2 Prasedimentasi

Prasedimentasi biasa digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti kerikil dan pasir yang berasal dari air sungai sebelum dipompa ke unit pengolahan. Prasedimentasi merupakan salah satu unit pada bangunan pengolahan air minum yang umumnya digunakan sebagai pengolahan pendahuluan. Bentuk unit prasedimentasi yang umum digunakan adalah rectangular dan circular serta terdiri dari empat zona, yaitu zona inlet, zona pengendapan, outlet, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah overflow rate, v_{horizontal} (vh), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds, Tom D, & Paul, 1996)

Bak pengendap pertama (prasedimentasi) terdiri dari empat ruangan yaitu (Qasim dkk, 2000):

1. Zona inlet

Tempat menghaluskan aliran transisi, dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminar)

2. Zona pen gendapan

Tempat terjadinya proses pengendapan atau pemisahan partikel diskrit pada air

3. Zona lumpur

Tempat menampung material yang mengendap bersama lumpur

4. Zona outlet

Tempat menghaluskan aliran transisi, dari zona settling ke aliran efluen, serta mengatur debit effluent.

Menurut (Metcalf & Eddy, 2003) terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan untuk mendesain unit prasedimentasi, antara lain yaitu detention time, overflow rate, average flow, peak hourly flow, dan weir loading. Kriteria desain unit prasedimentasi dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Desain Tipikal Prasedimentasi

<i>Item</i>	<i>U.s. customary units</i>			<i>SI units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>
<i>Primary sedimentation tank followed by secondary treatment</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
<i>Overflow rate</i>						
<i>Average flow</i>	gal/ft ² .d	800-1200	1000	m ³ /m ² .d	30-50	40
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	2000-3000	2500	m ³ /m ² .d	80-120	100
<i>Weir loading</i>	gal/ft ² .d	10.000- 40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250
<i>Primary settling with waste activated-sludge return</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
<i>Overflow rate</i>						
<i>Average flow</i>	gal/ft ² .d	600-800	700	m ³ /m ² .d	24-32	28

<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	1200-1700	1500	m ³ /m ² .d	48-70	60
<i>Weir loading</i>	gal/ft ² .d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250

(Sumber: *Metcalf & Eddy*. 2003. Hal 398)

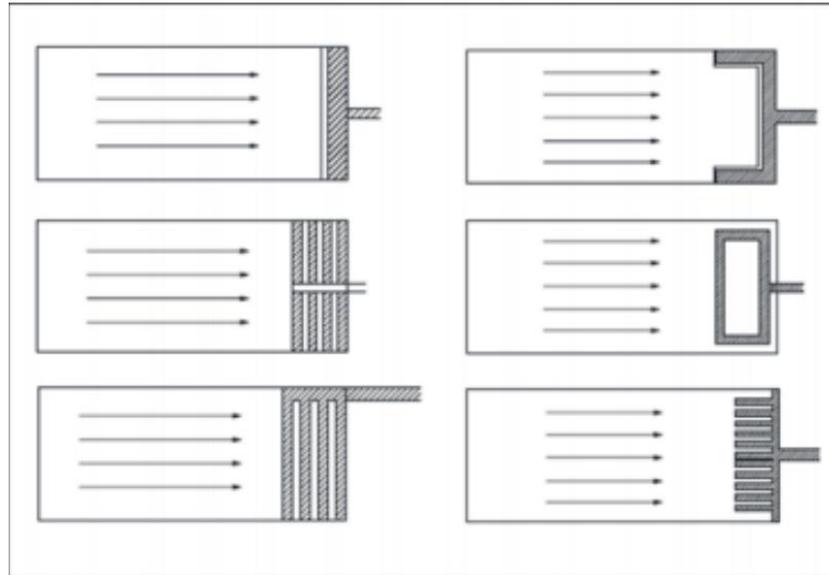
Desain outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. Weir loading rate adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Berikut ini adalah beberapa kriteria desain untuk weir loading rate dari berbagai sumber.

Tabel 2. 2 Beragam Weir Loading Rate dari Beragam Sumber

<i>Weir Loading Rate</i> (m³/hari.m)	Sumber	Keterangan
186	Kaltz & Foulkes, 1962	
249,6	Kaltz & Foulkes, 1962	Pada daerah yang terpengaruh <i>density current</i>
264	Kawamura, 2000	
125 – 250	Droste, 1997	
172,8 – 259,2	Huisman, 1977	

Berdasarkan sejumlah kriteria desain pada beragam sumber mengenai weir loading rate di atas, dapat dilihat bahwa jika pada bak terjadi *density current*, weir loading rate diharapkan tidak terlalu besar karena dapat menyebabkan terjadinya penggerusan pada partikel yang mengendap di sekitar outlet, sehingga diharapkan weir loading rate dapat sekecil mungkin. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah

agar luas yang dibutuhkan untuk zona outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar, antara lain dapat dilihat pada **gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Ragam Susunan Pelimpah Pada Outlet

(sumber : Qasim et al., 2000)

2.4.3 Aerasi

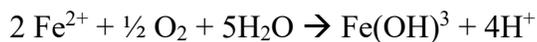
Aerasi adalah suatu proses penambahan udara/oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara (air ke dalam udara) atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air (udara ke dalam air). Perpindahan 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).

Sumber lain menjelaskan bahwa aerasi adalah suatu proses atau usaha dalam menambahkan konsentrasi oksigen yang terkandung dalam air limbah, agar proses oksidasi biologi oleh mikroba akan dapat berjalan dengan baik. Dalam melakukan proses Aerasi ini perlu menggunakan alat yang dinamakan aerator. Prinsip kerja alat ini

adalah untuk menambahkan oksigen terlarut di dalam air tersebut. Kemudian yang menjadi tugas utama dari aerator ini adalah memperbesar permukaan kontak antara air dan udara. Tujuan aerasi adalah sebagai berikut:

- a. Penambahan jumlah oksigen
- b. Penurunan jumlah karbon dioksida (CO₂)
- c. Menghilangkan hydrogen sulfide (H₂S), metan (CH₄) dan berbagai senyawa organik lain yang bersifat volatile (menguap)

Tujuan dari proses aerasi adalah meningkatkan konsentrasi oksigen yang berada didalam air yang berguna dalam pengolahan air. Terjadi kontak antara air dan oksigen dikarenakan adanya penambahan udara dalam air pada proses aerasi sehingga dapat membentuk endapan Fe(OH)₃, hal tersebut juga berlaku pada logam lain. Selain itu aerasi juga meningkatkan produksi oksigen ditandai dengan penurunan parameter organik dan chemical oxygen demand (COD). Berikut reaksi kimia yang terjadi pada besi saat aerasi berlangsung (Izzati, 2019):



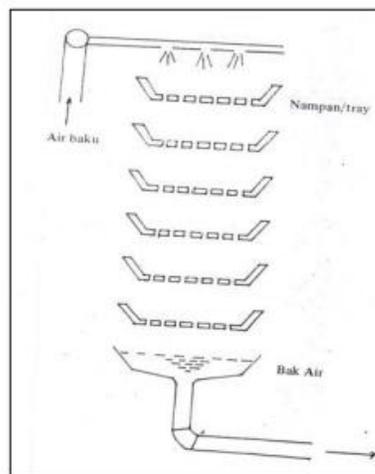
Penurunan kadar COD dan BOD pada aerasi terjadi karena adanya penambahan oksigen pada ke dalam air sehingga terjadi proses oksidasi oleh mikroorganisme yang menyebabkan penurunan senyawa organik. Menurut (Hadisantoso, Widayanti , Amalia, & Delilah , 2018). hal ini dikarenakan adanya supuan oksigen pada air limbah mengakibatkan meningkatnya laju penguraian yang diakibatkan oleh bertumbuhnya populasi organisme yang baik. .

Jenis-jenis metode aerasi yakni :

a. Waterfall Aerator (Aerasi Air Terjun)

Pengolahan air aerasi dengan metoda *Waterfall/Multiple aerator* seperti pada **gambar 2.6** , Susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh

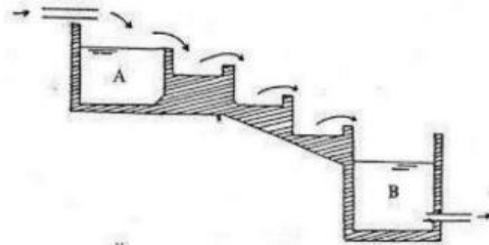
lubanglubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m² permukaan tray. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap tray berikutnya. Tray-tray ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan absetos cement berlubang-lubang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.



Gambar 2. 6 Multiple Tray Aerator

b. Cascade Aerator

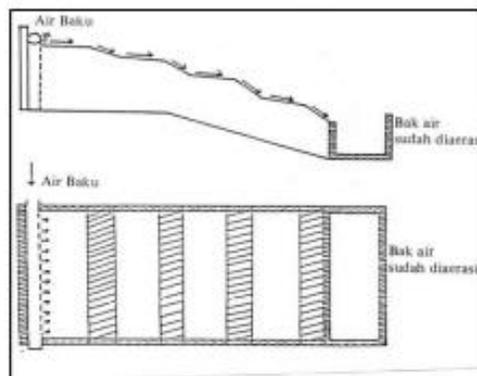
Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kirakira ketinggianya 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m³ /det per m² . Untuk menghilangkan gerak putaran (*turbulence*) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan *tray aerators*, ruang yang diperlukan bagi *cascade aerators* lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.



Gambar 2. 7 *Cascade Aerator*

c. *Submerged Cascade Aerator*

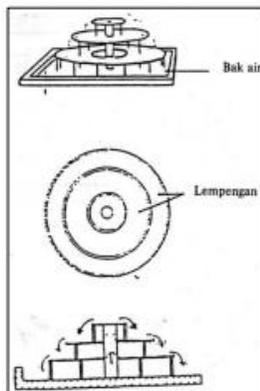
Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara kedalam air. Total ketinggian jatuh + 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 0,5 m³ /det per m² .



Gambar 2. 8 *Submerged Cascade Aerator*

d. *Multiple Platform Aerator*

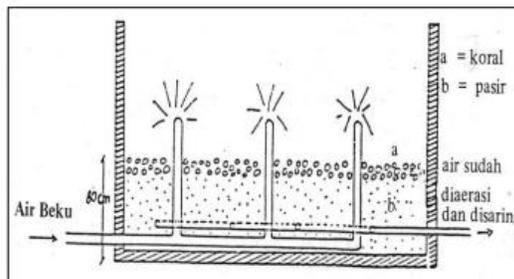
Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.



Gambar 2. 9 *Multiple Platform Aerator*

e. *Spray Aerator*

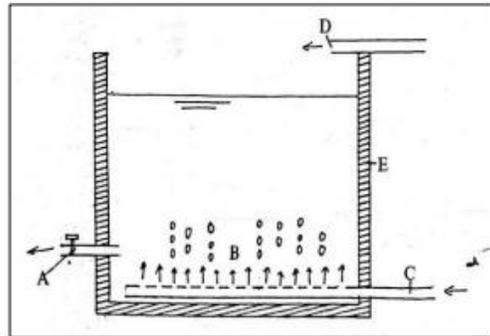
Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (*stationary nozzles*) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara disekeliling pada kecepatan 5-7 m/detik. *Spray aerator* sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air kearah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm. Piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nosel untuk *spray aerator* bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar.



Gambar 2. 10 *Spray Aerator*

f. *Bubble Aerator*

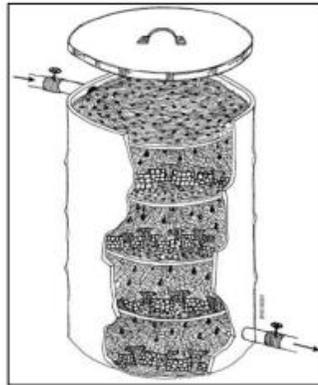
Jumlah udara yang diperlukan untuk bubble aerator (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3-0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.



Gambar 2. 11 *Bubble Aerator*

g. Multiple-Tray Aerator

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (*tray*) dan dilubangi pada bagian dasarnya. 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 pons*). 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 2-6 inch (5-15 cm) sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalisa dari mangan oksida.



Gambar 2. 12 *Multiple-Tray Aerator*

Secara garis besar, desain dan karakteristik operasional aerator dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000) sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Desain dan Karakteristik Operasional Aerasi

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
<i>Aerator Gravitasi Cascade</i>	20-45% CO ₂	Tinggi : 1-3 m Luas : 8.5-105 m ² / m ² .det Kecepatan aliran : 0,3 m/det
<i>Packing Tower</i>	>95% VOC 90% CO ₂	Diameter kolom maksimum : 3 m Beban hidrolis: 2000 m ³ / m ² .hari
<i>Tray</i>	>90% CO ₂	Kecepatan: 0,8-1,5 m ³ / m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ / m ³ air Jarak rak (<i>tray</i>): 30-75 cm Luas: 50-160 m ² / m ³ detik
<i>Spray Aerator</i>	79-90% 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

<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOC _s	Luas bak: 105-320 m ² / m ³ .det Tekanan semprotan: 70 kPa Waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m ³ / m ² air Kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman <2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang diffuser 2-5mm
<i>Aerator mekanik</i>	70-90% CO ₂ 25-40% H ₂ S	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

2.4.4 Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Wang, Shammas, & Hung , 2016)

Proses destabilisasi terjadi salah satunya akibat dari pengadukan cepat, pengadukan cepat bertujuan agar menghasilkan turbulensi pada air sehingga bahan kimia (koagulan) dapat didispersikan kedalam air. Secara umum pengadukan cepat ialah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan yang besar (300 sampai 1000/s) selama 5 hingga 60 detik yang bergantung pada maksud serta tujuan dari pengadukan itu sendiri (Masduqi, 2016)

Koagulan atau Flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang

digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel (Mayasari & Hastarina, 2018)

Pada **Tabel 2.4** berikut, data koagulan yang umum digunakan pada proses pengolahan air.

Tabel 2. 4 Jenis Koagulan Dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi Dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$Al^2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium Alumniat	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0-7,8
Poly Aluminium Chloride, PAC	$Aln(OH)_mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8
Ferri Sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri Klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	Kristal halus	Asam	>8,5

Sumber: Sugiarto 2006

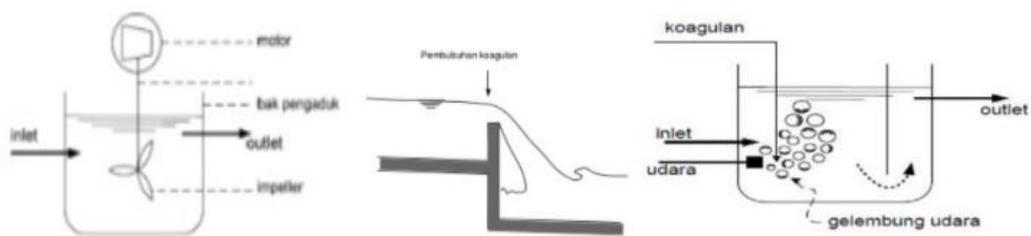
Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis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

1. Pengaruh pH. Koagulan memiliki range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang

dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral).

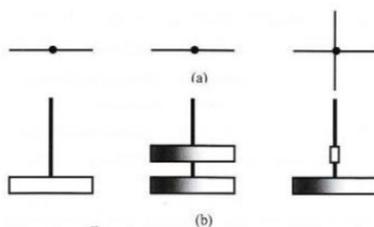
2. Pengaruh Temperatur. Temperatur rendah akan terjadi reaksi yang lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap
3. Dosis Koagulan
4. Pengadukan (mixing). Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.
5. Pengaruh Garam. Garam tersebut dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992)

Menurut caranya, pengadukan cepat dibagi menjadi tiga cara, yaitu pengadukan mekanis, pengadukan hidraulis, dan pengadukan pneumatis. Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan dengan memakai peralatan mekanis yang terdiri dari motor, poros pengaduk, dan alat pengaduk yang digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Pengadukan hidraulis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan yang dihasilkan dari energi hidraulis dari suatu aliran hidraulis yang dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau lompatan hidraulis pada suatu aliran. Sedangkan pengadukan pneumatis merupakan pengadukan yang memakai udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan (Masduqi & Assomadi, 2016).



Gambar 2. 13 Pengadukan Mekanis, Pengadukan Hidraulis dan Pengadukan Pneumatis

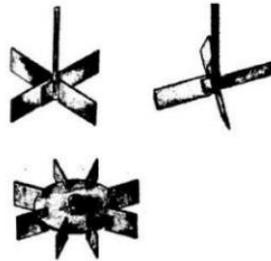
Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balong-balong). Bentuk ketiga impeller dapat dilihat pada **gambar 2.14**, **gambar 2.15**, dan **gambar 2.16**. Kriteria *impeller* dapat dilihat pada **tabel 2.5**. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . **Tabel 2.6** dapat dijadikan patokan untuk menentukan G dan td . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT yang dapat dilihat pada **tabel 2.7**.



Gambar 2. 14 Tipe Paddle Tampak Atas dan Samping

(a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping

(Sumber: masduqi & Assomadi, 2012 hal 112)



Gambar 2. 15 *Tipe Paddle*

(a) *Turbine* blade lurus, (b) *Turbine* blade dengan piringan (C) *Turbiner* dengan *blade* menyerong

(Sumber: Qasim, et all., 2000)



Gambar 2. 16 *Tipe Propeller*

(a) Propeller 2 blade, (b) propeller 3 blade

(Sumber: Qasim, et all., 2000)

Tabel 2. 5 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan putaran	Dimensi	Keterangan
<i>Paddle</i>	20-150 rpm	Diameter: 50-80% lebar bak Lebar: 1/6 – 1/10 diameter paddle	-
<i>Turbine</i>	10-150 rpm	Diameter: 30-50% lebar bak	-

<i>Propeller</i>	00-1750 rpm	Diameter maks 45 cm	Jumlah pitch 1-2 buah
------------------	----------------	---------------------	-----------------------------

(Sumber : Reynolds & Richards. 1996. Halaman 185)

Tabel 2. 6 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien *Kecepatan*

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

(Sumber : Reynolds & Richards. 1996. Halaman 184)

Tabel 2. 7 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Bersekat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, Pitch of 1, 3 blades	41	0.32
Propeller, Pitch of 2, 3 blades	43.5	1
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60	5.31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65	5.75
Turbine, 6 curved blades	70	4.8
Fan turbine, 6 blades at 45*	70	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 paddle), Di/Wi = 4	43	2.25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 6	36.5	1.7
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi = 8	33	1.15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi = 6	49	2.75
Flat paddles, 6 blades, Di/Wi = 6	71	3.82

(Sumber: Reynold, *Unit Operation and Processes in Enviromental Engineering*, Page 188)

2.4.5 Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat 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

Pembagian bak sedimentasi didasarkan pada konsentrasi dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

1. Pengendapan Tipe I (*Free Settling*)
2. Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*)
3. Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*)
4. Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*)

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona:

1. *Zona Inlet*

Tempat terjadinya distribusi aliran yang menuju zona *settling* ($\pm 25\%$ Panjang bak)

2. *Zona Outlet*

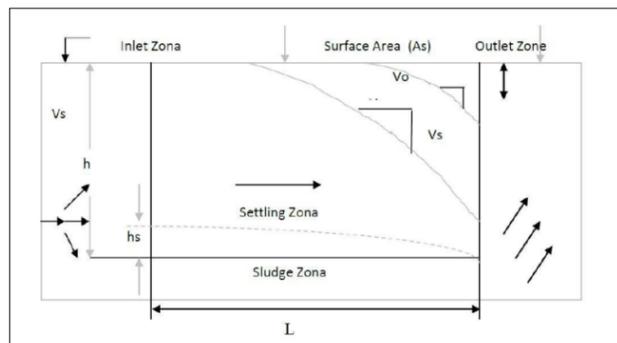
Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa

3. *Zona Settling*

Tempat terjadinya pengendapan yang sesungguhnya

4. *Zona Sludge*

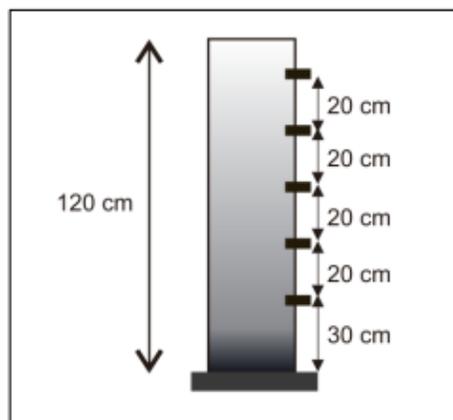
Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap 1/5 volume bak.



Gambar 2. 17 Pembagian Zona Bak Sedimentasi

(Sumber: Al Layla. *Water Supplay Engineering Desain*)

Besarnya partikel yang mengendap di uji dengan column setting 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. 18 Kolom test Sedimentasi Tipe II

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

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.\

2.4.6 Filtrasi

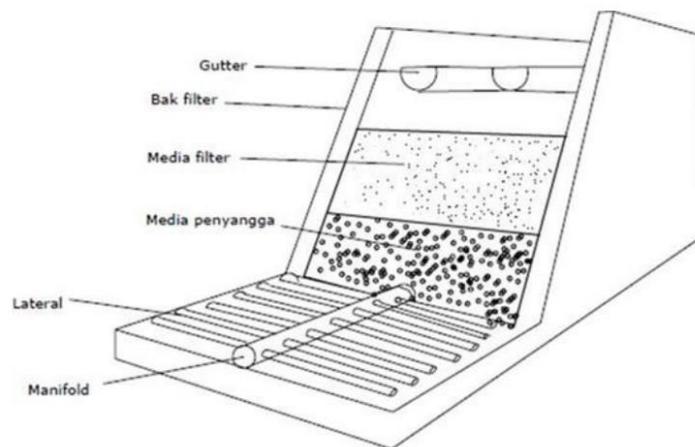
Menurut Al-Layla pada tahun 1978, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan 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 sebagai berikut:

- a. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
- b. Proses sedimentasi di dalam filter
- c. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok 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 proses filtrasi partikel yang memiliki ukuran kecil seperti koloida dan bakteri akan lebih sulit untuk dihilangkan, hal ini dikarenakan ukurannya yang sangat kecil dapat lebih mudah untuk lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil jarak diantara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Akan tetapi dapat juga digunakan oleh partikel-partikel flok yang belus 100% terendapkan pada lapisan kerikil ini. Pada **gambar 2.19** dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2. 19 *Bagian-Bagian Filter*

(Sumber: Reynold & Richards, 1996)

Menurut (Reynolds, Tom D, & Paul, 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. Untuk jenis-jenis filter berdasar system operasi antara lain :

1. *Filter Single Media*

Merupakan filter cepat tradisional dengan menggunakan media pasir kwarsa. Penyaringan SS terjadi pada lapisan paling atas sehingga dianggap kurang efektif karena sering dilakukan pencucian

2. *Filter dual media*

Merupakan filter dengan menggunakan media pasir kwarsa di lapisan bawah dan antrasit di lapisan atas. Hal ini memberikan keuntungan yakni kecepatan filtrasi lebih tinggi (10 – 15 m/jam), periode pencucian lebih lama, dan hemat biaya.

3. *Multi media filter*

biasanya terdiri dari media antrasit, pasir dan garnet atau dolomit. Media ini sering digunakan karena memiliki perbedaan densitas yang berbeda dengan antrasit sebagai media filtrasi yang paling ringan per satuan volume yang kemudian diikuti oleh pasir dan granet. Fungsinya yaitu untuk memaksimalkan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring

Berdasarkan tipenya, filtrasi dibagi menjadi filtrasi pasir cepat dan filtrasi pasir lambat. Filtrasi pasir lambat merupakan filter yang memiliki kecepatan filter yang lambat, yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter ini cukup efektif digunakan untuk mereduksi kandungan bahan organik dan organisme patogen. Namun, kelemahan filter ini yaitu membutuhkan ukuran bed filter yang besar, kecepatan filter yang sangat lambat dan hanya efektif digunakan untuk mengolah air baku dengan kadar kekeruhan 50 NTU. Sedangkan filter pasir cepat merupakan filter dengan kecepatan filtrasi yang cepat, yaitu sekitar 6-11 m/jam. Filter ini memiliki bagian-bagian sebagai berikut (Masduqi & Assomadi, 2016):

- a. Bak filter yang berfungsi sebagai tempat proses filtrasi berlangsung.
- b. Media filter yang berupa media dengan bahan berbutir tempat berlangsungnya penyaringan
- c. Sistem underdrain yang berfungsi sebagai system pengaliran air yang telah melewati proses filtrasi. Sistem underdrain terdiri atas orifice, lateral, dan manifold.

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, anthrasit, 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.

Rapid Sand Filter (Filter Pasir Cepat) 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, 2012:171). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada **tabel 2.8**. Sedangkan Filter pasir lambat atau slow sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter pasir lambat bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan hypogeal atau schmutzdecke. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera, dan larva serangga air. Schmutzdecke adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati schmutzdecke, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa (Masduqi & Assomadi, 2012:176). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada **Tabel 2.9**

Tabel 2. 8 Kriteria Perencanaan *Rapid Sand Filter*

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
1	Kecepatan Penyaringan (m/jam)	6 - 11	6 - 11

2	Pencucian : - Sistem Pencucian - Kecepatan (m/jam) - Lama Pencucian (menit) - Periode antara 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) - Presentase 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%

Tabel 2. 9 Kriteria Perencanaan *Slow Sand Filter*

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1-0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20-60 hari

Metode pembersihan	Mengambil lapisan pasir dipermukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2-0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah

Filter bertekanan (*pressure filter*) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter gravitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada filter cepat dan filter lambat, aliran air melewati media berbutir hanya didorong oleh tekanan atmosfer atau sistem aliran terbuka. Pada filter bertekanan, diperlukan pendorong tekanan yang lebih besar. Oleh karena itu tangki dirancang dengan sistem tertutup dan menggunakan pompa untuk menambah tekanan dalam tangki. Filter bertekanan terdiri atas tangki tertutup, media filter, media penyangga, dan sistem underdrain. Kriteria filter bertekanan terdapat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Kriteria Filter Bertekanan

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12-33	
2.	Pencucian:	Tanpa/dengan blower & atau surface wash	
	• Sistem pencucian		
	• Kecepatan (m/jam)		72-198
	• Lama pencucian (menit)		-
	• Periode antara dua pencucian (jam)		-
• Ekspansi (%)	30-50		

3.	Media pasir: <ul style="list-style-type: none"> • Tebal (mm) • Single media • Ganda media • Ukuran efektif, ES (mm) • Koefisien keseragaman, UC • Berat jenis (kg/L) • Porositas • Kadar SiO₂ 	300-700 600-700 300-600 - 1,2-1,4 2,5-2,65 0,4 >95%
4.	Media antrasit: <ul style="list-style-type: none"> • Tebal (mm) • Ukuran efektif, ES (mm) • Koefisien keseragaman, UC • Berat jenis (kg/L) • Porositas 	400-500 1,2-1,8 1,5 1,35 0,5
5.	Dasar filer nozel: <ul style="list-style-type: none"> • Lebar slot nozel (mm) • Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	<0,5 >4%

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 energi (*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 sampai 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter yaitu menggunakan menara air dan interfilter.

2.4.7 Desinfeksi

Desinfeksi diartikan sebagai destruksi mikroba patogen. Desinfeksi pada pengolahan air memiliki beberapa metode, yaitu secara fisik, kimia dan radiasi. Pada metode fisik, perlakuan yang diberikan yaitu berupa cahaya dan panas, contohnya seperti memanaskan air yang akan diolah hingga titik didih dimana sel mikroba akan hancur. Pada metode secara radiasi, perlakuan yang diberikan yaitu dengan mengontakkan air yang akan diolah dengan sinar ultraviolet hingga sel mikroba menjadi hancur. Sedangkan pada metode kimia, perlakuan yang diberikan yaitu dengan membubuhkan zat kimia kedalam air yang akan diolah. Pada desinfeksi dengan metode kimia, yaitu dengan membubuhkan bahan kimia untuk proses desinfeksi, yaitu desinfektan. Bahan kimia yang umumnya digunakan yaitu kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan kalium permanganat.. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses desinfeksi antara lain (Masduqi & Assomadi, 2016):

- a. Waktu kontak
- b. Jenis desinfektan
- c. Konsentrasi desinfektan
- d. Suhu
- e. Jumlah mikroba
- f. Jenis mikroba

Kemampuan desinfeksi dalam pengolahan air minum adalah untuk sebagai berikut:

- Menghilangkan bau
- Mematikan alga
- Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat
- Mengoksidasi amonia menjadi senyawa amin
- Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya

Berikut adalah berbagai macam desinfeksi dengan metode yang berbeda beda beserta penjelasannya:

1. Desinfeksi dengan Ozon

Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600 – 3000 lebih kuat dari klorin. Penggunaannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O₂ berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi akan menghasilkan lompatan electron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Jika elektroda mencapai kecepatan cukup, maka akan menyebabkan molekul oksigen splitting ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom ini akan bergabung membentuk O₃ (ozon)

2. Desinfeksi dengan UV

Dapat terjadi dengan interaksi langsung menggunakan sinar UV dan tidak langsung menggunakan zat pengoksidasi. Biasanya sinar UV yang digunakan mampu mematikan semua mikroorganisme. Daerah yang berperan dalam efek garmicial adalah UV-AC, dengan panjang gelombang 280-220 nm

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

Metode ini menggunakan bahan kimia yang dicampurkan daam air kemudian diberikan waktu yang cukup agar memberi kesempatan kepada zat untuk berkontak dengan bakteri. Desinfeksi air minum yang sering dilakukan yaitu dengan memanfaatkan klorin. Reaksi yang terjadi pada pembubuhan klorin yaitu: $Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + Cl^- + H^+$ $HOCl \rightleftharpoons OCl^- + H^+$

4. Desinfeksi dengan gas klor

Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air. Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8-8,3 oksidasi besi

membutuhkan waktu 15-30 menit. Pada umumnya proses standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisa klor yang dianjurkan 0,2-0,5 mg/l. Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl₂) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit (Sawyer et al., 1978).

2.4.8 Reservoir

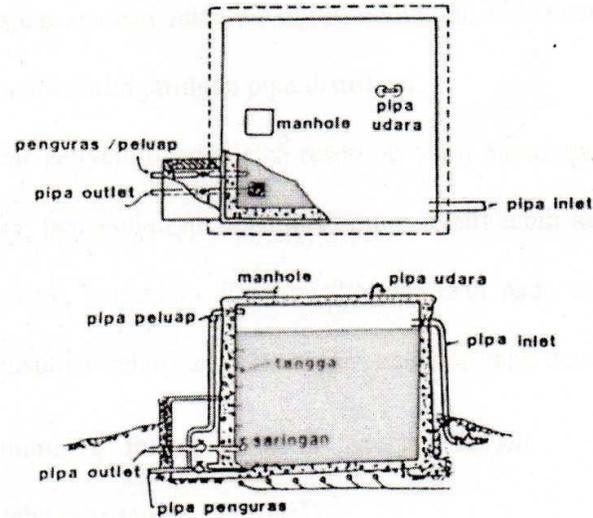
Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan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

1. Reservoir Permukaan (Ground Reservoir)

Reservoir permukaan adalah reservoir yang sebagian besar atau seluruh bagian reservoir tersebut terletak dibawah permukaan tanah. Reservoir

permukaan biasanya berbentuk bak atau tangki air yang ditanam di bawah tanah.



Gambar 2. 20 *Reservoir Permukaan*

2. Reservoir Menara (Elevated Reservoir)

Reservoir menara adalah reservoir yang seluruh bagian penampungannya terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.



Gambar 2. 21 *Reservoir Menara*

Jika dilihat berdasarkan bahan konstruksinya, maka jenis reservoir dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Reservoir *Tangki 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. 22 *Reservoir Tanki Baja*

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. 23 Reservoir Beton Cor

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.



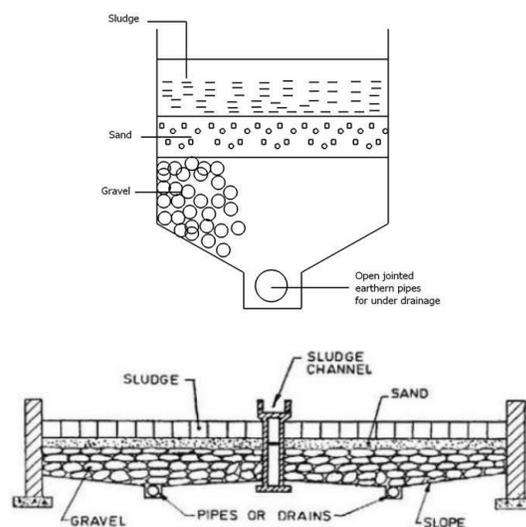
Gambar 2. 24 Reservoir Fiberglass

2.4.9 *Sludge Drying Bed*

Sludge drying bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur atau 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. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. 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. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. Sludge drying bed pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003)

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 / sludge 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, 2003)



Gambar 2. 25 Reservoar Fiberglass

2.4.10 Persen Removal

Berikut merupakan persen removal pada setiap unit bangunan pengolahan air yang akan digunakan:

Tabel 2. 11 Persen Removal

Jenis Bangunan	Parameter Teremoval	Kemampuan Penyisihan (%)	Sumber
Aerasi	Fe	60 - 90%	Droste, 1997. <i>Theory and Practice of water and Waste Water Treatment.</i>
Sedimentasi	BOD	50 - 80%	Metcalf & Eddy. <i>WWET Disposal, and Reuse 4th Eddition.</i>
	COD	77%	Pertiwi A K, 2019. " <i>Pengaruh Konsentrasu Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Waktu Pengadukan Terhadap Penurunan Kadar COD dan Fosfat Pada Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi</i> ".
	TSS	80 - 95%	Metcalf & Eddy. <i>WWET Disposal, and Reuse 4th Eddition.</i>
	Fosfat	78%	Pertiwi A K, 2019. " <i>Pengaruh Konsentrasu Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Waktu Pengadukan Terhadap Penurunan Kadar COD dan Fosfat Pada Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi</i> ".
Filtrasi	BOD	20 -60%	Syed R. Qasim, <i>Wastewater Treatment Plant Design and Operation</i>
	COD	60-80%	

	TSS	90-100%	Droste, 1997. <i>Theory and Practice of water and Waste Water Treatment.</i>
Desinfeksi	Total Coliform	100% jika sisa kor melebihi 0,5 mg/L	Ali Masduqi, 2016. Operasi dan Proses Pengolahan Air

2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi 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. Profil Hidrolis IPAL adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “*hydraulic grade line*” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan [*influent - effluent*] dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa.

Hal yang perlu diperhatikan sebelum membuat profil hidrolis adalah memperhitungkan:

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

Untuk membuat profil hidrolis perlu perhitungan kehilangan tekanan pada

bangunan. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada pintu
- b. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang, dan lain sebagainya
- c. Kehilangan tekanan pada perpipaan Rumus yang digunakan: $L \times S$
- d. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Mengekivalenkan aksesoris dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus

- e. Kehilangan tekanan pada pompa
Hal ini dipengaruhi oleh jenis pompa, cara pemasangan, dan lain-lain
- f. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok Menghitung dengan bantuan monogram