

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. 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 merencanakan pengolahan air baku yang digunakan yaitu air permukaan dari air sungai Telake, Kalimantan Timur, yang memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

##### **2.1.1. Kekeruhan**

Kekeruhan merupakan standar yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur kondisi suatu air baku dalam satuan skala NTU (nephelometric turbidity unit). Kekeruhan diakibatkan oleh adanya benda yang tercampur didalam air. Kekeruhan juga dapat disebabkan karena adanya kandungan TSS baik yang bersifat organik maupun anorganik (Permenkes RI, 2010). 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 desinfektan yang diberikan (Tri Joko, 2010).



Gambar 2. 1 Alat Turbidimeter

##### **2.1.2. Zat Tersuspensi (TSS)**

Padatan tersuspensi atau biasa disebut Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang mengandung senyawa organik maupun anorganik yang tersaring oleh kertas saring dengan pori  $0,45 \mu\text{m}$ . Padatan tersebut berasal dari

mineral, seperti silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil uraian jasad makhluk hidup. Selain itu, juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Kandungan yang ada didalam padatan tersuspensi umumnya memiliki dampak yang buruk bagi kualitas air karena kurangnya sinar matahari yang masuk kedalam badan air, sehingga mengakibatkan pertumbuhan organisme penting dalam air menjadi terhambat. Materi tersuspensi ini dapat digolongkan menjadi dua, yakni zat padat dan koloid. Zat padat tersuspensi dapat mengendap apabila keadaan air cukup tenang, ataupun mengapung apabila sangat ringan, materi ini pun dapat disaring. Sedangkan koloid sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan (filter) air biasa (Said, 2007). Serta zat tersuspensi erat hubungannya dengan derajat kekeruhan air, semakin tinggi konsentrasi zat tersuspensi maka semakin keruh airnya (Amadea, 2018).

### **2.1.3. 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 (Effendi, 2003).

*Biological Oxygen Demand* atau Kebutuhan oksigen biologis dapat disebut juga sebagai suatu parameter kimia untuk mengetahui kualitas perairan. Nilai BOD penting sebagai indikator kualitas perairan karena tingginya kandungan BOD dalam perairan menandakan kurangnya oksigen terlarut didalamnya. Kondisi tersebut memiliki dampak yaitu kematian organisme perairan seperti ikan dikarenakan kekurangan oksigen terlarut (anoxia)(Salmin, 2005)

### **2.1.4. Chemical Oxygen Demand (COD)**

COD (Chemical Oxygen Demand) merupakan banyaknya oksigen dalam ppm yang diperlukan dalam kondisi khusus untuk menguraikan zat organik menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kuat (potassium dikromat) dalam keadaan/larutan asam (Qasim, 1985). 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, serta 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).

#### **2.1.5. Zat Organik (KmnO<sub>4</sub>)**

Zat organik adalah zat yang pada umumnya merupakan bagian dari Binatang atau tumbuh-tumbuhan dengan komponen utamanya adalah karbon, protein, dan lemak lipid. Zat organik ini mudah sekali mengalami pembusukan oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut. Dan adanya zat organik dalam air menunjukkan bahwa air tersebut telah tercemar oleh kotoran manusia, hewan atau oleh sumber lain. Zat organik merupakan bahan makanan bakteri atau mikroorganisme lainnya. Makin tinggi kandungan zat organik didalam air, maka semakin jelas bahwa air tersebut telah tercemar (Asmadi, 2012).

Analisa zat organik dalam air dapat ditentukan dengan menggunakan metode titrasi permanganometri. Metode titrasi ini menggunakan kalium permanganat yang merupakan oksidator kuat sebagai titran. Hasil yang diperoleh dinyatakan sebagai nilai permanganat. Nilai permanganat adalah jumlah mg/l kalium permanganat (KMnO<sub>4</sub>) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1000 mL air pada kondisi mendidih (Haitami et al., 2016).

#### **2.1.6. Warna**

Warna dalam perairan dapat berasal dari adanya zat-zat organik, seperti plankton atau humus, serta zat-zat anorganik, seperti ion-ion logam besi dan mangan. Kehadiran bahan anorganik, seperti oksida besi, dapat memberikan warna merah pada air, sementara oksida mangan dapat membuat air berwarna coklat atau hitam. Air yang mengandung kalsium karbonat dari daerah berkapur dapat memiliki warna hijau. Sementara itu, zat-zat organik seperti tanin, lignin, dan asam humus yang berasal dari proses pelapukan tumbuhan mati dapat memberikan warna coklat pada air (Effendi, 2003)

Umumnya, warna air disebabkan oleh partikel koloid yang bermuatan negatif. Karena itu, warna air dapat menjadi indikator keberadaan zat terlarut yang memengaruhi kualitas air. Oleh karena itu, untuk menghilangkan warna dalam air, digunakan bahan koagulan bermuatan positif seperti aluminium dan besi (Gabriel, 2001). Serta warna air dapat diidentifikasi secara visual atau diukur dengan alat colorimeter menggunakan skala platinum kobalt (dinyatakan dalam satuan PtCo), dengan cara membandingkan warna air sampel dengan warna standar (Effendi, 2003). Nilai satu satuan PtCo setara dengan satu satuan skala TCU (*True Color Unit*), yang dapat dikatakan bahwa  $1 \text{ TCU} = 1 \text{ mg/L platinum kobalt}$ . (Sanjaya, 2004)

Warna di dalam air terbagi dua, yakni warna semu (apparent color) adalah warna yang disebabkan oleh partikel-partikel penyebab kekeruhan (tanah, pasir, dll), partikel halus besi, mangan, partikel-partikel mikroorganisme, warna industri, dan lain-lain. Yang kedua adalah warna sejati (true color) adalah warna yang berasal dari penguraian zat organik alami, yakni humus, lignin, tanin dan asam organik lainnya.

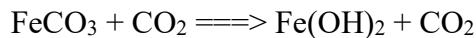
#### 2.1.7. Besi

Besi adalah salah satu dari lebih unsur-unsur penting dalam air permukaan dan air tanah. Perairan yang mengandung besi sangat tidak diinginkan untuk keperluan rumah tangga, karena dapat menyebabkan bekas karat pada pakaian, porselin, alat-alat lainnya serta menimbulkan rasa yang tidak enak dan menyebabkan warna air kekuningan/ kecoklatan pada air minum konsentrasi diatas kurang lebih  $0,31 \text{ mg/l}$ .

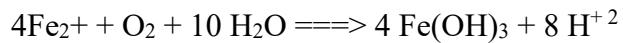
Di dalam proses penghilangan besi dengan cara Aerasi, adanya kandungan alkalinity,  $(\text{HCO}_3)^-$  yang cukup besar dalam air, akan menyebabkan senyawa besi berada dalam bentuk senyawa ferro bikarbonat ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ). Oleh karena bentuk  $\text{CO}_2$  bebas lebih stabil daripada  $(\text{HCO}_3)^-$ , maka senyawa bikarbonat cenderung berubah menjadi senyawa karbonat.



Dari reaksi tersebut dapat dilihat, jika  $\text{CO}_2$  berkurang, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser ke kanan dan selanjutnya reaksi akan menjadi seperti :



Dapat dilihat hidroksida besi (valensi 2) masih mempunyai kelarutan yang cukup besar, sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan udara atau aerasi akan terjadi reaksi (ion) sebagai berikut :



Pada pH rendah, kecepatan reaksi oksidasi besi dengan oksigen (udara) relatif lambat, sehingga pada praktiknya untuk mempercepat reaksi dilakukan dengan cara menaikkan pH air yang akan diolah. Untuk aerator dengan difuser dilakukan dengan cara menyemburkan udara bertekanan ke dalam air melalui difuser yang berbentuk nozzle, pipa berlubang, atau difuser gelembung halus. Dengan cara demikian maka akan terjadi kontak yang efektif antara oksigen atau udara dengan zat besi atau mangan yang ada di dalam air sehingga terjadi reaksi oksidasi zat besi atau mangan membentuk oksida yang tak larut dalam air (Said, 2005).

#### 2.1.8. 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).

Total coliform adalah kelompok bakteri yang termasuk di dalamnya bakteri jenis aerobik dan fakultatif anaerobik, dimana merupakan bakteri gram negative. Sebagian besar bakteri total coliform adalah heterotrophic dan dapat bertambah jumlahnya di air dan tanah. Total coliform juga dapat bertahan dan bertambah banyak jumlahnya di sistem distribusi air, terutama jika kondisinya memungkinkan. Keberadaan total coliform dapat berasal dari tinja manusia atau hewan dan dapat pula berada secara alamiah di dalam air. Total coliform hanyalah sebagai indikator yang digunakan untuk mengindikasikan bahwa bisa saja terdapat mikroba lain

dalam air tersebut, misalnya mikroba patogen seperti *Giardia*, *Cryptosporidium*, *E.coli*, dan lain-lain (Arsyina dkk, 2019).

Dan kadar maksimum total coliform yang diperbolehkan untuk air minum yang diatur di dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 adalah 0 MPN/100 ml sampel.

#### **2.1.9. *Escherichia coli* (*E. coli*)**

*Escherichia coli* atau yang umumnya disingkat *E. coli* merupakan bakteri yang masuk dalam golongan *Enterobacteriaceae*, bakteri ini berbentuk bacil pendek dan bersifat gram negative (didalam pewarnaan gram berwarna merah), berflagel, dan mempunya ukuran berkisar  $0.4\text{-}0.7\text{ }\mu\text{m} \times 1.4\text{ }\mu\text{m}$  serta mempunya kapsul. Serta *Escherichia coli* merupakan salah satu jenis mikrobiologi yang dikenal memiliki habitat hidup pada saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas (Sitorus et al., 2024).

*Escherichia coli* digunakan sebagai bakteri indikator kualitas air minum karena keberadaannya di dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut terkontaminasi oleh feses, sampah, limbah rumah tangga, rembesan air, dan lain sebagainya yang kemungkinan juga mengandung mikroorganisme enteric patogen lainnya (Riyanti et al., 2021). Bakteri *E. coli* yang terdapat dalam air umumnya adalah *E. coli* non-patogen, tetapi kadang ditemukan juga *E. coli* pathogen (Ratumbanua et al., 2021). Dan air yang tercemar *E.coli* dan Coliform apabila terkonsumsi oleh manusia dapat mengakibatkan beberapa penyakit, seperti penyebab gejala diare, demam, kram perut, dan muntah-muntah (Entjang, 2003). Oleh karena itu sangat penting untuk selalu melakukan analisa *E. coli* dan Coliform terhadap air bersih yang akan digunakan untuk kebutuhan manusia atau sebagai air minum (Riyanti et al., 2021).

Ada beberapa cara menganalisis bakteri Coliform dan *E.Coli* seperti *Colony Forming Unit* (CFU) adalah metode pengujian air dengan menggunakan membran filter untuk mengukur jumlah koloni bakteri dan *Colony Forming Unit* (CFU) adalah metode yang menggunakan teknik pengenceran dan analisis statistik untuk memperkirakan jumlah mikroorganisme. Metoda *Colony Forming Unit* (CFU) atau Most Probable Number (MPN) bisa digunakan sebagai salah satu metoda pengujian persyaratan kualitas air bersih menurut mikrobiologi (Riyanti et al., 2021).

## 2.2. Standar Kualitas Air Baku

Air baku merupakan air bersih yang digunakan untuk kebutuhan air bersih, domestik serta industri. Untuk memenuhi air baku yang setiap harinya semakin meningkat, maka air baku dapat diperoleh dari air sungai, air tanah maupun air sumur. Air yang digunakan sebagai air baku harus memenuhi persyaratan sesuai dengan kegunaanya. Air baku dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air bersih (Prayitno, 2009).

Standar Kualitas Air Baku di Indonesia dapat dilihat pada PP No. 22 tahun 2021 dan juga Peraturan menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Air baku ini berasal dari air sungai atau sumber air baku lainnya yang harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih, tidak berwarna dan berbau dan layak untuk didistribusikan kepada masyarakat luas. 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.

Agar baku mutu air minum dapat terpenuhi, maka diperlukan berbagai usaha untuk menjaga kualitas air, yaitu :

1. Kontrol pada sumber air dapat dilakukan dengan pemilihan sumber air, control terhadap sumber polusi yang masuk ke sumber air, perbaikan kualitas sumber, kontrol pertumbuhan biologi.
2. Instalasi pengolahan air yang tepat.
3. Kontrol pada sistem transmisi dan distribusi untuk mencegah kontaminan.

### **2.3. Bangunan Pengolahan Air Baku**

#### **2.3.1. Bangunan Penyadap (Intake) dan Bar 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 air lainnya. Kapasitas bangunan intake yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan air harian maksimum. Dan terdapat persyaratan lokasi penempatan bangunan pengambilan (intake, antara lain ):

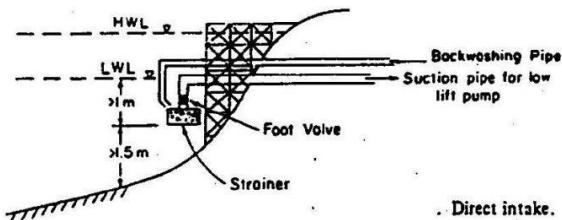
1. Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain lain);
3. 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 pengoperasianya;
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 lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

Menurut Kawamura (2000), bangunan intake memiliki tipe yang bermacam-macam, antara lain :

1. Bangunan Penyadap Langsung (Direct Intake)

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



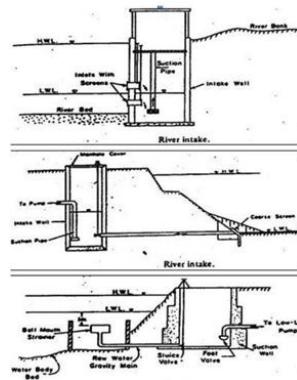
*Gambar 2. 2 Direct Intake*

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.

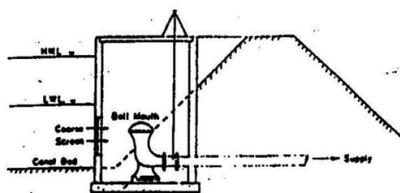


*Gambar 2. 3 River Intake*

Sumber: Kawamura, 2000

b. Canal Intake

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

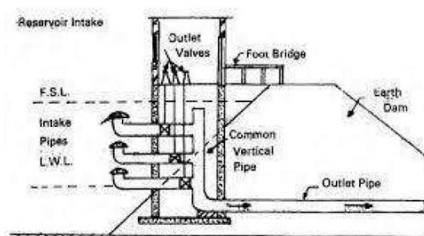


*Gambar 2. 4 Canal Intake*

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. 5 Reservoir Intake*

Sumber: Kawamura, 2000

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Pipa Haen-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. 2 Nilai k untuk kehilangan energi

Valve, Fittings, and Specials	k value
<i>Entrance, suction bell (32 in) 81 cm</i>	0,004
<i>90<sup>0</sup> elbow (24 in) 61 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (24 in) 61 cm</i>	0,19
<i>Reducer (14 in) 35,5 cm</i>	0,25
<i>Check vale (20 in) 51 cm</i>	2,5
<i>90<sup>0</sup> 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. 3 Faktor Minor Losses Bar

Bentuk Bar	Nilai Minor losses ( $\beta$ )
Shape edge rectangular	2,42
Rectangular with semicircular up stream face	1,83
circular	
Circular	1,79
Rectangular with semicircular up stream and	1,67
down stream face	
Tear shape	0,76

Sumber: Qasim, 2000

### 2.3.2. 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, vhorizontal (vh), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996).

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

1. Zona inlet

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

2. Zona pengendapan

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 efluen

Menurut Metcalf & Eddy (2003), ada kriteria yang perlu diperhatikan untuk mendesain unit prasedimentasi, antara lain: detention time, overflow rate, average flow, peak hourly flow, dan weir loading.

Tabel 2. 4 Desain Tipikal Prasedimentasi

Item	U.S. customary units			SI units		
	unit	range	typical	unit	range	typical
<i>Primary sedimentation tank followed by secondary treatment</i>						

Item	U.S. customary units			SI units		
	unit	range	typical	unit	range	typical
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft <sup>2</sup> .d	800-1200	1000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	30-50	40
Peak hourly flow	gal/ft <sup>2</sup> .d	2000-3000	2500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	80-120	100
Weir loading	gal/ft <sup>2</sup> .d	10000-40000	20000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	125-500	250
<i>Primary settling with waste activated-sludge return</i>						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft <sup>2</sup> .d	600-800	700	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	24-32	28
Peak hourly flow	gal/ft <sup>2</sup> .d	1200-1700	1500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	48-70	60
Weir loading	gal/ft <sup>2</sup> .d	10000-40000	20000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	125-500	250

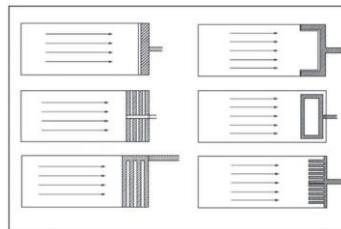
Sumber: Metcalf & Eddy, 2003 (halaman 398)

Desain outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang 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. 5 Ragam Weir Loading Rate dari Berbagai Sumber

Weir Loading Rate (m <sup>3</sup> /hari.m)	Sumber	Keterangan
186	Katz & Foulkes, 1962	
249,6	Katz & Foulkes, 1962	Pada daerah yang terpengaruh <i>density current</i>
264	Kawamura, 2000	
125-250	Droste, 1997	
172,8-259,2	Huisman, 1977	

Berdasarkan kriteria desain dari berbagai sumber tentang 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 tinggi 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. 6 Ragam susunan pelimpah pada outlet

Sumber: Qasim et all, 2000

### 2.3.3. 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:

1. Penambahan jumlah oksigen
2. Penurunan jumlah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )
3. Menghilangkan hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), methan ( $\text{CH}_4$ ) dan berbagai senyawa organik lain yang bersifat volatile (menguap)

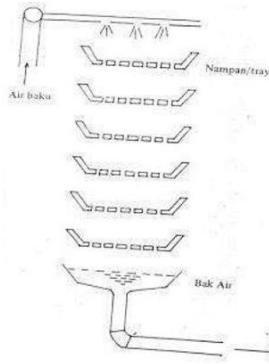
Tujuan dari proses aerasi adalah meningkatkan konsentrasi oksigen yang berada didalam air yang berguna dalam pengolahan air. Terjadi kontak antara air dan oksigen dikarenakan adanya penambahan udara dalam air pada proses aerasi sehingga dapat membentuk endapan  $\text{Fe(OH)}_3$ , hal tersebut juga berlaku 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 Istihara, 2019):



Pada jurnal Eko dkk, 2018, pengujian COD pada air wudhu setelah diaerasi menunjukkan penurunan kadar COD. Penurunan kadar COD terjadi karena terjadinya penambahan asupan oksigen ke dalam sampel limbah sehingga terjadi proses oksidasi oleh mikroorganisme yang menyebabkan penurunan senyawa organik pada sampel limbah. Sementara itu, sama seperti halnya pada pengujian BOD terjadi penurunan yang cukup besar. Hal ini disebabkan terjadinya asupan oksigen ke air limbah mengakibatkan meningkatnya laju penguraian yang diakibatkan oleh bertumbuhnya populasi organisme yang baik. Adapun beberapa jenis metode aerasi yakni sebagai berikut :

a. *Waterfall Aerator (Aerasi Air Terjun)*

Pengolahan air aerasi dengan metoda *Waterfall/Multiple aerator* seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil

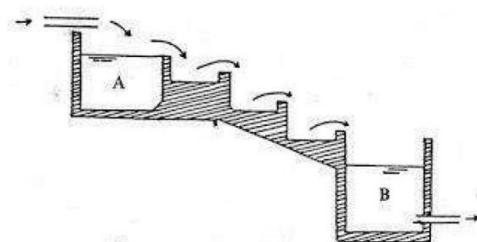


*Gambar 2. 7 Multiple Tray Aerator*

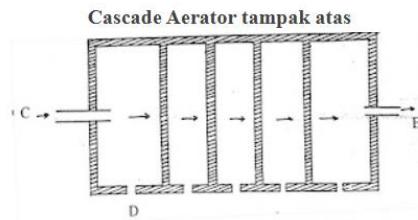
Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang-lubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m<sup>2</sup> permukaan tray. Tetesan yang kecil menyebar 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.

b. *Cascade Aerator*

Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggiannya 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m<sup>3</sup>/det per m<sup>2</sup>. 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. 8 Cascade Aerator*



*Gambar 2. 9 Cascade Aerator Tampak Atas*

*Keterangan :*

*A = air baku*

*D = lubang pembersih*

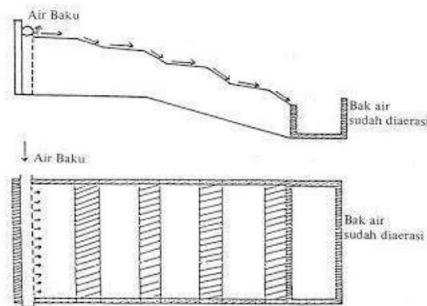
*B = air sudah diaerasi*

*E = outlet*

*C = inlet*

*c. Submerged Cascade Aerator*

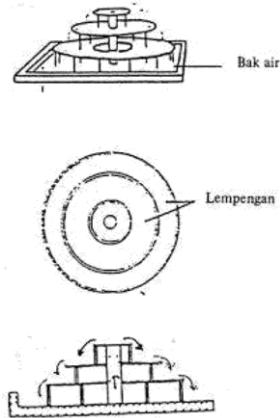
Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara kedalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 0,5 m<sup>3</sup>/det per m<sup>2</sup>.



*Gambar 2. 10 Submerged Cascade Aerator*

*d. Multiple Platform Aerator*

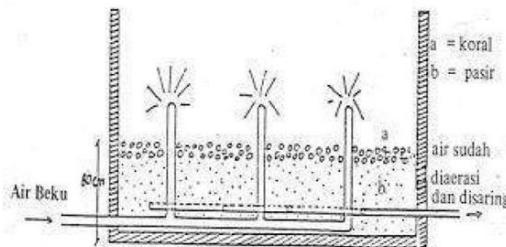
Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.



*Gambar 2. 11 Multiple Platform Aerator*

e. *Spray Aerator*

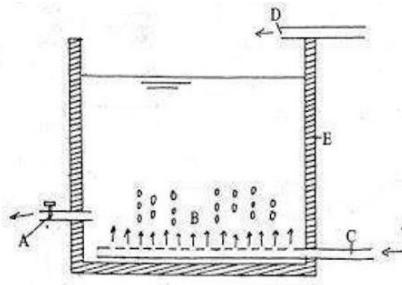
Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (stationary nozzles) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara disekeliling pada kecepatan 5-7 m/detik. Spray aerator sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air kearah bawah melalui batang-batang pendek dari 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-tesan yang halus. Nosel untuk spray aerator bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar.



*Gambar 2. 12 Spray Aerator*

f. *Bubble Aerator (Aerasi Gelembung Udara)*

Jumlah udara yang diperlukan untuk bubble aerator (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari  $0,3\text{-}0,5 \text{ m}^3 \text{ udara/m}^3 \text{ air}$  dan volume ini dengan mudah bisa dinaikkan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.



Gambar 2. 13 Bubble Aerator

Keterangan :

A = outlet

D = inlet air baku

B = gelembung udara

E = bak air

C = pipa berlubang untuk udara

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

Tabel 2. 6 Desain dan Karakteristik Operasional Aerasi

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
<i>Aerator Gravitasi: Cascade</i>	20-45% CO <sub>2</sub>	Tinggi 1-3 m Luas: 85-105 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> .det kecepatan aliran: 0,3 m/det
<i>Packing Tower</i>	>95% VOC >90% CO <sub>2</sub>	Diameter kolom maksimum: 3 m Beban hidrolik: 2000 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
<i>Tray</i>	>90% CO <sub>2</sub>	Kecepatan: 0,8-1,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .menit Kebutuhan udara: 7,5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> air Jarak rak ( <i>tray</i> ): 30-75 cm Luas: 50-160 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .det
<i>Spray Aerator</i>	70-90% CO <sub>2</sub> 25-40 H <sub>2</sub> S	Tinggi: 1,2-9 m Diameter <i>nozzle</i> : 2,5-4 cm Jarak <i>nozzle</i> : 0,6-3,6 m Debit <i>nozzle</i> : 5-10L/det
		Luas bak: 105-320 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .det Tekanan semprotan: 70 kPa Waktu detensi: 10-30 menit

<i>Aerator</i>	Penyisihan	Spesifikasi
<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOCs	Udara: 0,7-1,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> air Kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman <2 Volume maksimum: 150 m <sup>3</sup> Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
<i>Aerator Mekanik</i>	70-90% CO <sub>2</sub> 25-40 H <sub>2</sub> S	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2-4 m

Sumber: Qasim, 2000

#### 2.3.4. 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 (Dalimunthe, 2007; Shammas & Wang, 2016).

Koagulan atau Flokulasi 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 (Pulungan, 2012).

Data koagulan yang umum digunakan pada proses pengolahan air disajikan pada tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Jenis Koagulan Dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi Dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .xH <sub>2</sub> O x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium Aluminat	Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Bubuk	Basa	6,0-7,8
Poly Aluminium Chloride, PAC	Al <sub>n</sub> (OH) <sub>m</sub> Cl <sub>3n-m</sub>	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8

Ferri Sulfat	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri Klorida	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	FeSO <sub>4</sub> .7 H <sub>2</sub> O	Kristal halus	Asam	>8,5

Sumber: Sugiarto, 2006

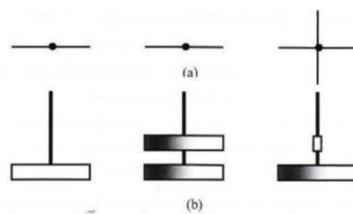
Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis 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. Terdapat beberapa faktor 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. Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Apabila tidak sesuai, maka kemungkinan tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikrofloks yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan juga akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat
5. 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

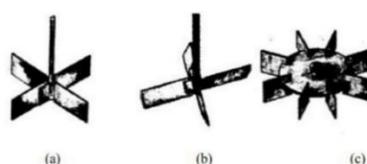
6. Pengaruh Garam. Garam tersebut dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992)

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan 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* (baling-baling). Bentuk ketiga impeller dapat dilihat pada gambar 2.13, gambar 2.14, dan gambar 2.15. Kriteria *impeller* dapat dilihat pada tabel 2.8. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu  $G$  dan  $td$ . Tabel 2.9 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 2.10.



Gambar 2. 14 Tipe Paddle: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012 hal.112



Gambar 2. 15 Tipe Turbin: (a) Paddle; (b) Propeller; (c) Turbin

Sumber: Qasim, 2000



(a) (b)

Gambar 2. 16 Tipe Propeller: (a) 2 blade; (b) 3 blade

Sumber: Qasim, 2000

Tabel 2. 8 Kriteria Impeller

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

Sumber: Reynolds & Richards, 1996 hal. 185

Tabel 2. 9 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan( $\text{detik}^{-1}$ )
20	1000
30	900
40	790
$50 \geq$	700

Sumber: Reynolds & Richards, 1996 hal. 184

Tabel 2. 10 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis <i>Impeller</i>	KL	KT
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	41	0,32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	43,5	1
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70	4,8
<i>Fan turbine, 6 blades at 45°</i>	70	1,65
<i>Shrouded turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08

Jenis Impeller	KL	KT
<i>Shrouded turbine, with stator, no baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddles), D1/W1=4</i>	43	2,25
<i>Flat paddles, 2 blades, D1/W1=6</i>	36,5	1,7
<i>Flat paddles, 2 blades, D1/W1=8</i>	33	1,15
<i>Flat paddles, 4 blades, D1/W1=6</i>	49	2,75
<i>Flat paddles, 6 blades, D1/W1=8</i>	71	3,82

Sumber: Reynolds & Richards, 1996 hal. 188

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok menjadi flok yang berukuran lebih besar. Pada flokulasi, kontak antar partikel melalui tiga mekanisme, yaitu :

1. Thermal motion, yang dikenal dengan Brownian Motion atau difusi atau disebut sebagai Flocculation Perikinetic
2. Gerakan cairan oleh pengadukan
3. Kontak selama pengendapan (Marsono, 2002)

Pengadukan lambat (agitasi dan stirring) digunakan dalam proses flokulasi, untuk memberi kesempatan kepada partikel flok yang sudah terkoagulasi untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar. Selain itu, untuk memudahkan flokulasi untuk mengikat flok-flok kecil dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik<sup>-1</sup>) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Camp) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar.

### 2.3.5. 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

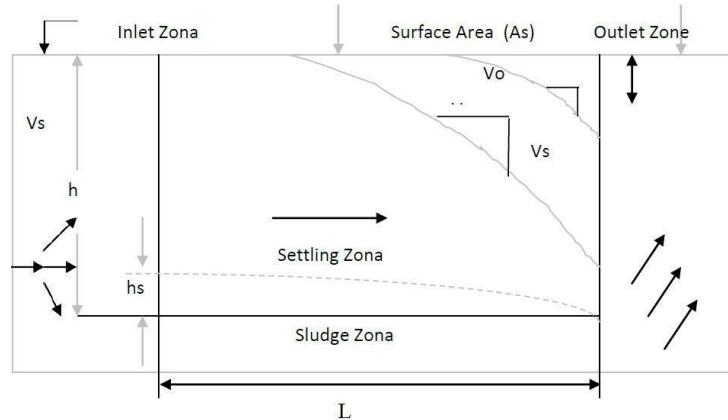
air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

- Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat
- Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat
- Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan chlorine
- Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

- Pengendapan Tipe I (Free Settling)
- Pengendapan Tipe II (Flocculent Settling)
- Pengendapan Tipe III (Zone/Hindered Settling)
- Pengendapan Tipe IV (Compression Settling)

Pada unit sedimentasi terdapat zona-zona yang digambarkan seperti di bawah ini :



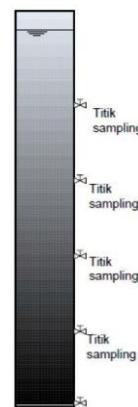
Gambar 2. 17 Zona pada bak sedimentasi

Sumber: Al Layla, 1978

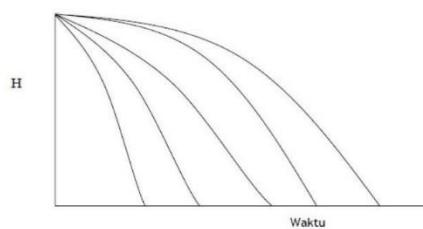
Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut:

- Zona Inlet : terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ( $\pm 25\%$  panjang bak)

- Zona Settling : terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
- 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
- Zona Outlet : menghasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa. Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. 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

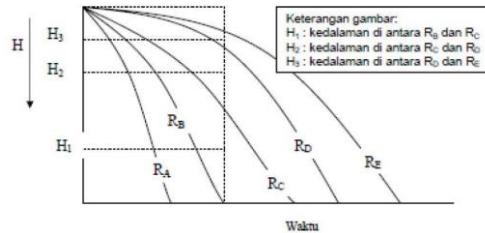


Gambar 2. 18 Kolom test sedimentasi tipe II



Gambar 2. 19 Grafik isoremoval

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut. Dapat menentukan kedalaman  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ .



Gambar 2. 20 Penentuan kedalaman  $H$  dan seterusnya

Besarnya penyisihan total pada waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau 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 di atas minimal dua kali)
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai 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 mendisain bak pengendap (aliran kontinyu) 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 (Reynold dan Richards, 1996).

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 laminer. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona outlet. Terdapat beberapa keuntungan horizontal-flow dibandingkan dengan up flow yaitu :

- Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolik 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

#### 2.3.6. 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

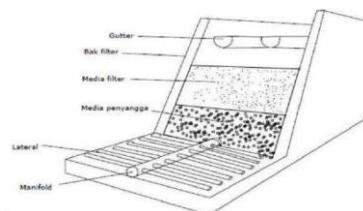
pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

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 eletrokinetik
- e. Proses koagulasi di dalam filter
- f. Proses bilogis 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. Pada gambar 2.20 dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2. 21 Bagian - bagian filter

Sumber: Reynolds & Richards, 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. Sedangkan jenis filter berdasar sistem operasi dan media antara lain: single media, dual media, dan multi media. Filter single media adalah filter cepat tradisional yang menggunakan media pasir kwarsa. Penyaringan SS terjadi pada lapisan paling atas sehingga dianggap kurang efektif karena sering dilakukan pencucian. Filter dual media 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. 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, kemudian diikuti oleh pasir dan garnet. Fungsi multi media filter yakni untuk memaksimalkan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring (Reynolds, 1992).

Menurut Al-Layla (1978), 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  $m^3/m^2.hr$  (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6  $m^3/m^2.hr$ ). 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.

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 deviasi nya.

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 mm

Dual media:  $UC = 1,4-1,9$

ES = 0,5-0,7 mm

## 2.1. Filter Pasir Cepat

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, 2012). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.12.

Tabel 2. 11 Kriteria perencanaan filter pasir cepat

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6-11	6-11
2	Pencucian: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem pencucian</li> <li>• Kecepatan (m/jam)</li> <li>• Lama pencucian (menit)</li> <li>• Periode antara dua pencucian (jam)</li> <li>• Ekspansi (%)</li> </ul>	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 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Lapisan penyangga dari atas ke bawah               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)</li> <li>• Kedalaman</li> </ul> </li> </ol>	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%

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
	(mm) ukuran butir (mm) b. Filter nozel <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar slot nozel (mm)</li> <li>• Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)</li> </ul>		

Sumber: SNI 6774-2008

## 2.2.Filter Pasir Lambat

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 hypogea 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). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2. 12 Kriteria Filter Pasir Lambat

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

Kriteria	Nilai/Keterangan
	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

Sumber: Schulz & Okun, 1984

### 3. Filter Bertekanan

Filter bertekanan (pressure filter) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter grafitasi (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 2.14.

Tabel 2. 13 Kriteria Filter Bertekanan

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12-33
2	Pencucian: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem pencucian</li> <li>• Kecepatan (m/jam)</li> <li>• Lama pencucian (menit)</li> <li>• Periode antara dua pencucian (jam)</li> <li>• Ekspansi (%)</li> </ul>	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 72-198 - - 30-50
3	Media pasir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tebal (mm)</li> <li>• Single media</li> <li>• Ganda media</li> <li>• Ukuran efektif, ES (mm)</li> <li>• Koefisien keseragaman, UC</li> <li>• Berat jenis (kg/L)</li> <li>• Porositas</li> <li>• Kadar SiO<sub>2</sub></li> </ul>	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"> <li>• Tebal (mm)</li> <li>• Ukuran efektif, ES (mm)</li> <li>• Koefisien keseragaman, UC</li> <li>• Berat jenis (kg/L)</li> <li>• Porositas</li> </ul>	400-500 1,2-1,8 1,5 1,35 0,5

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)
5	Dasar filer nozel: <ul style="list-style-type: none"> <li>Lebar slot nozal (mm)</li> <li>Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)</li> </ul>	<0,5 >4%

Sumber: SNI 6774-2008

#### 4. Hidrolika Pencucian (Backwash)

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.

#### 2.3.7. Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, yaitu air harus bebas dari mikroorganisme patogen. Disinfeksi merupakan proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Disinfeksi 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 desinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro

dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan desindeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan kalium permanganat. Kemampuan desinfeksi dalam pengolahan air minum adalah untuk sebagai berikut:

1. Menghilangkan bau
2. Mematikan alga
3. Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat
4. Mengoksidasi amonia menjadi senyawa amin
5. Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya

Berikut adalah macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

1. Waktu kontak
2. Konsentrasi desinfeksi
3. Jumlah mikroorganisme
4. Temperatur air
5. pH
6. Keberadaan senyawa lain dalam air

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

1. Desinfeksi dengan Ozon

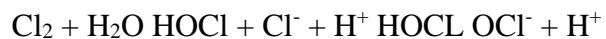
Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600 – 3000 lebih kuat dari klorin. Penggunannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O<sub>2</sub> 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 O<sub>3</sub> (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:



## 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/m<sup>3</sup> air, tergantung pada turbiditas air (Aji, 2015). 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 (Fatimah, et al., 2007). Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl<sub>2</sub>) 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).

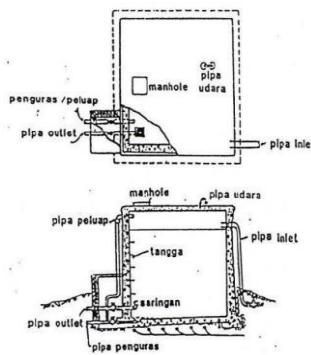
### 2.3.8. Reservoir

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 memenui 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



Gambar 2. 22 Reservoir Permukaan

#### 2. Reservoir Menara (Elevated Reservoir)

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



Gambar 2. 23 Reservoar Menara

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksinya, maka jenis reservoar dapat dibagi menjadi beberapa, yaitu:

1. Reservoar Tanki Baja

Banyak Reservoar menara dan “*standpipe*” atau Reservoar tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibuat 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. 24 Reservoar Tangki Baja

2. Reservoar Beton Cor

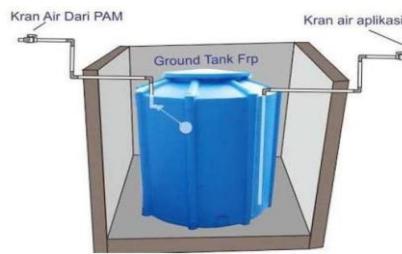
Tanki dan Reservoar beton pertama kali dibuat tanpa penutup. Perkembangan selanjutnya konstruksi ini memakai penutup dari kayu atau beton. Dengan tutup ini maka masalah sanitasi akan terselesaikan. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Kelemahan umum dari bahan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



Gambar 2. 25 Reservoar Beton Cor

### 3. Reservoar Fiberglass

Penggunaan fiberglass sebagai bahan untuk membuat reservoar 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.

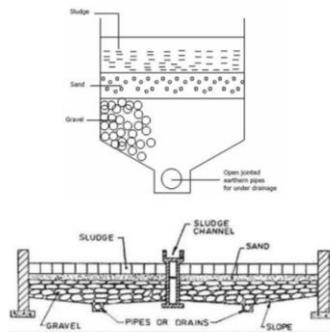


Gambar 2. 26 Reservoar Fiberglass

#### 2.3.8. 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. 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 2,56 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. 27 Sludge Drying Bed

Pipa inlet pada bangunan sludge drying bed harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurusan 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. (Metcalf & Eddy, 2003)

Padatan pada sludge drying bed hanya dapat dikuras dari bangunan sludge drying bed setelah sludge mengering. Sludge / lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta

berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam sludge / lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurusan dapat dikatakan selesai apabila sludge / lumpur telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan. (Metcalf & Eddy, 2003). Daya tampung sludge drying bed dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan sludge / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun (kg/m<sup>2</sup>.tahun). Data tipikal untuk variasi sludge / lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini.

Tabel 2. 14 Kriteria Kebutuhan Luas Lahan SDB Berdasarkan Tipe Tanah Solid

Tipe Biosolid	Luas Lahan*		Sludge Loading Rate	
	ft <sup>2</sup> /person	km <sup>2</sup> /person	lb lumpur kering/ft <sup>2</sup> .tahun	kg lumpur kering/m <sup>2</sup> .tahun
Primary Digested	1-1,5	0,1	25-30	120-150
Humus Trickling Filter	1,25-1,75	0,12-0,16	18-25	90-120
Lumpur Activated Sludge	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

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

## 2.4 Persen Removal

Berikut adalah persen removal yang diketahui pada unit bangunan pengolahan air minum yang akan dirancang:

Tabel 2. 15 Persen Removal Unit Pengolahan

Unit	Parameter	%Removal	Sumber
Prasedimentasi	Kekeruhan	65% - 80%	Ali Masduqi. 2016. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Hal. 171
	TSS	40% - 70%	Metcalf & Eddy. WWET Disposal, and Reuse 4 <sup>th</sup> Eddition. Page 497
Aerasi	BOD	35% - 95%	

Unit	Parameter	%Removal	Sumber
	COD	39% - 90%	Mirwan A. dkk. 2010. Penurunan Kadar BOD, COD, TSS, CO <sub>2</sub> Air Sungai Martapura Menggunakan Tangki Aerasi Bertingkat. Jurnal Sains dan Teknologi. No. 76. Th. XXVIII. 72-77
	Fe	60% - 90%	Droste, 1997. Theory and Practice of water and Waste Water Treatment. Page 224
Sedimentasi	Kekeruhan	90% - 100%	Droste, 1997. Theory and Practice of water and Waste Water Treatment. Page 224
	TSS	80% - 95%	Metcalf & Eddy. WWET Disposal, and Reuse 4th Eddition. Page 497
	BOD	50% - 80%	
	COD	30% - 40%	Syed R. Qasim, Wastewater Treatment Plants Design and Operation
	Warna	91,13%	Novitasari, et al. 2013. <i>Evaluasi dan Optimalisasi Kinerja IPA I PDAM Kota Pontianak.</i>
	Fe	95,55%	
Filtrasi	Kekeruhan	90% - 100%	Droste, 1997. Theory and Practice of water and Waste Water Treatment. Page 224
	TSS	50% - 80%	Syed R. Qasim, Wastewater Treatment Plant Design and Operation
	BOD	93,75%	

Unit	Parameter	%Removal	Sumber
	COD	96,14%	Septi Ika Nurfadila, & Okik Hendriyanto Cahyonugroho.2023. Penurunan BOD5 dan COD pada Air Permukaan Pasar Umum Negara dengan Metode Filtrasi Sederhana. INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi, 2(6), 1099–1108.
	Zat Organik (KmnO <sub>4</sub> )	50%	Prawita,A., & Hadi. W. (2014). Penggunaan Unit Slow Sand Filter, Ozon Generator dan Rapid Sand Filter Skala Rumah Tangga Untuk Meningkatkan Kualitas Air Sumur Dangkal Menjadi Air Layak Minum (Parameter Zat Organik dan Deterjen). Jurnal Teknik Pomits. 6947-20742-1-Pb. 3(2).
	Warna	91,53%	Novitasari, et al. 2013. <i>Evaluasi dan Optimalisasi Kinerja IPA I PDAM Kota Pontianak.</i>
	Fe	95,55%	
Desinfeksi	Total Coliform	90% - 100%	Droste. 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment Chapter 9. Hal 224
	<i>E. coli</i>	90% - 100%	

## 2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan

(head loss) 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. Profil hidrolis IPA 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.

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 S

- 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

2. Tinggi muka air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat mengakibatkan kesalahan dalam penentuan elevasi bangunan pengolahan sehingga akan mempengaruhi proses pengolahannya. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada)

akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di *clear well*
- c. Mendapatkan tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* hingga bangunan pertama sesudah *intake*
- d. Jika tinggi muka air bangunan setelah *intake* lebih tinggi dari pada tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa di *intake* untuk menaikkan air