

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Baku**

Air adalah kebutuhan utama dari seluruh proses kehidupan yang ada di bumi. Tidak adanya air di bumi maka tidak terdapat pula kehidupan. Air baku merupakan salah satu bahan dasar yang dibutuhkan dalam proses pengolahan air minum. Air baku diambil dari sumber-sumber yang telah memenuhi standar baku mutu. Penentuan sumber air baku dalam pengolahan mempertimbangkan data yang didapatkan melalui penelitian secara periodik dengan rentang 5 hingga 10 tahun (Kawamura, 1991).

Air baku merupakan salah satu bahan dasar dalam proses pengolahan air minum. Sumber air baku harus tersedia dalam jumlah besar agar dapat memenuhi kebutuhan air minum daerah perencanaan. Sumber air baku yang digunakan dalam perencanaan instalasi pengolahan air minum ini adalah air permukaan. Air permukaan merupakan air yang berada pada permukaan, contohnya sungai, rawa, danau, dan mata air. Kualitas air permukaan pada umumnya belum memenuhi standar air baku dikarenakan kekeruhan, zat organik, kadar logam berat, warna, dan lain lain yang menyebabkan air permukaan tidak dapat langsung dikonsumsi.

Agar dapat dijadikan sumber air baku untuk air minum, maka air permukaan harus memenuhi kualitas oksigen yang terlarut, pH yang sesuai, kandungan zat padat yang minim, tidak mengandung bakteri, temperatur, dan parameter lain yang sesuai dengan syarat air baku untuk air minum. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010, pH yang diinginkan pada air permukaan diantara 6,5 dan 8,5. Air permukaan yang banyak digunakan untuk sumber air baku pengolahan air minum adalah air sungai dan air danau.

#### **2.2 Karakteristik Air Baku**

Standar kualitas air minum di Indonesia diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Dimana air yang tersalur harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih dan dapat dinilai dari penglihatan bahwa air seharusnya

bersih tanpa berbau, berwarna dan keruh dan layak untuk didistribusikan kepada pelanggan. Kualitas mutu air minum dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

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

Dalam perencanaan pengolahan air minum, air baku yang digunakan yaitu air permukaan Sungai Jagir yang mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut:

### **2.2.1 Parameter Fisik**

Sifat-sifat fisik air relatif mudah untuk diukur dan beberapa diantaranya mungkin dapat dinilai dengan cepat oleh orang awam. Yang termasuk kedalam parameter fisik adalah sebagai berikut:

- a) Kekeruhan

Kekeruhan merupakan standar yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur kondisi suatu air baku dalam satuan skala NTU (nephelometrix 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).

b) Total Suspended Solid (TSS)

TSS (Total Suspended Solid) merupakan senyawa berbentuk padat yang tersuspensi berada di dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral-mineral misalnya silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil penguraian jasad makhluk hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. TSS menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017). TSS adalah bahan tersuspensi yang mengakibatkan kekeruhan air, terdiri dari pasir halus, lumpur, serta jasad-jasad renik yang berasal dari kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003).

### 2.2.2 Parameter Kimiawi

Karakter kimia cenderung lebih khusus sifatnya dibandingkan dengan karakteristik fisis oleh karena itu dibutuhkan sebuah penelitian terlebih dulu untuk mengetahui zat-zat yang terkandung didalamnya. Parameter kimiawi yang terdapat didalam air adalah sebagai berikut:

a) *Chemical Oxygen Demand* (COD)

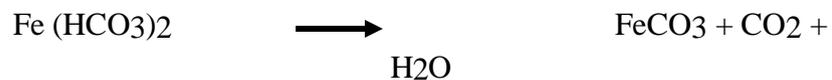
*Chemical Oxygen Demand* atau COD adalah jumlah bahan organik yang ada pada air limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam keadaan/larutan asam. Nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate meskipun nilai keduanya bisa saja sama tetapi hal tersebut sangat jarang. Hal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

Hubungan antara COD dan BOD mempengaruhi proses pengolahan air

limbah. Rasio BOD/COD dari air limbah adalah berkisar dari 0.3 sampai 0.8. Dimana jika rasio BOD/COD  $\geq 0.5$  maka air limbah dapat diolah menggunakan proses biologi. Sedangkan jika rasio BOD/COD  $< 0.3$  maka tidak dapat diolah menggunakan proses biologis karena memungkinkan terdapat banyak senyawa racun yang dapat membunuh bakteri.

b) 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 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 sebagai berikut:



Baik 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:



Sesuai dengan reaksi tersebut, maka untuk mengoksidasi setiap 1 mg/l zat besi dibutuhkan 0,14 mg/l oksigen. Pada pH rendah, kecepatan reaksi oksidasi besi dengan oksigen (udara) relatif lambat, sehingga pada prakteknya 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 yang ada di dalam air sehingga terjadi reaksi oksidasi zat besi membentuk oksida yang tak larut dalam air (Said, 2005).

### **2.2.3 Parameter Biologis**

Analisis Bakteriologi suatu sampel air bersih biasanya merupakan parameter kualitas yang paling sensitif. Kedalam parameter mikrobiologis ini hanya dicantumkan koliform tinja dan total coliform.

#### **a) 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 (Asyina dkk, 2019).

## **2.3 Standar Kualitas Air Baku**

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. Berikut adalah tabel baku mutu dari permenkes no. 2 tahun 2023

**Tabel 2.1** Baku mutu untuk keperluan higiene dan sanitasi

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/ APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/ APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ± 3	°C	SNI/APHA
4	<i>Total Dissolve Solid</i>	<300	mg/L	SNI/APHA
5	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/APHA
7	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6.5 – 8.5	-	SNI/APHA
9	Nitrat (sebagai NO <sup>3</sup> ) (terlarut)	20	mg/L	SNI/APHA
10	Nitrit (sebagai NO <sup>2</sup> ) (terlarut)	3	mg/L	SNI/APHA
11	Kromium valensi 6 (Cr <sup>6+</sup> ) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
12	Besi (Fe) (terlarut)	0.2	mg/L	SNI/APHA
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0.1	mg/L	SNI/APHA

(Sumber: Lampiran permenkes no. 2 tahun 2023)

Pada tugas perancangan bangunan pengolahan air ini digunakan untuk keperluan higiene dan sanitasi, dikarenakan pada perancangan ini dilakukan hanya sampai pada tahap air menjadi bersih, dimana air tersebut bisa dimanfaatkan untuk rumah tangga yang mengakses seara mandiri atau yang memiliki sumber air sendiri untuk keperluan sehari-hari.

## 2.4 Bangunan Pengolahan Air Baku

Bangunan pengolahan air baku mempunyai kelompok tingkat pengolahan, yaitu:

- a) Pengolahan pendahuluan (*Pre-treatment*)
- b) Pengolahan pertama (*Primary-treatment*)
- c) Pengolahan kedua (*Secondary-treatment*)
- d) Pengolahan lumpur (*Sludge-treatment*)

### 2.4.1 Pengolahan Pendahuluan

Proses pretreatment merupakan proses yang bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan selanjutnya dengan menyaring sampah-sampah terapung yang ikut terbawa air. Misalnya seperti menghilangkan kerikil, lumpur, padatan dan memisahkan lemak. Selain itu, pretreatment juga berfungsi untuk menyalurkan air limbah dari pabrik menuju instalasi pengolahan air limbah. Unit pretreatment yang digunakan yaitu sebagai berikut.

#### a) Bangunan Penyadap

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, intake adalah bangunan penangkap air atau tempat air masuk sungai, danau, atau sumber lainnya. Kapasitas bangunan intake yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan air harian maksimum. Persyaratan lokasi penempatan bangunan pengambilan (*intake*):

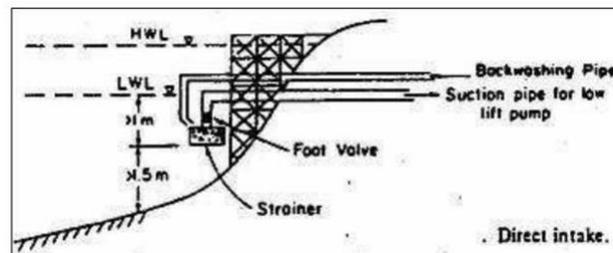
1. Penempatan bangunan penyadap (*intake*) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain)
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain- lain)
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (*up- lift*)
4. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya
5. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian
6. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air
7. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku

8. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun
9. Bahan / material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

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

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*)

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



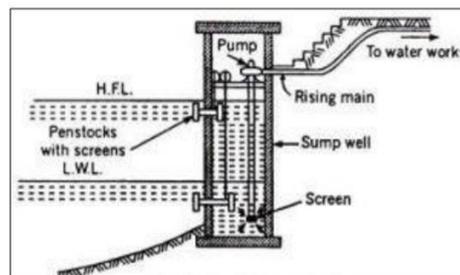
**Gambar 2.1** Direct Intake

Sumber: ([Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum \(123dok.com\)](http://123dok.com))

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

- a. *River Intake*

*River Intake* menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul.

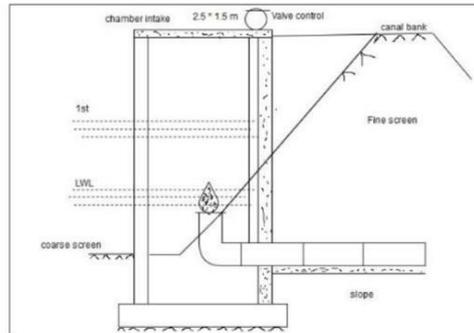


**Gambar 2.2** River Intake

Sumber: ([Intake Structure | Types Of Intake | Design And Construction Important Factors \(dreamcivil.com\)](http://dreamcivil.com))

b. *Canal Intake*

*Canal Intake* digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding *chamber* sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.

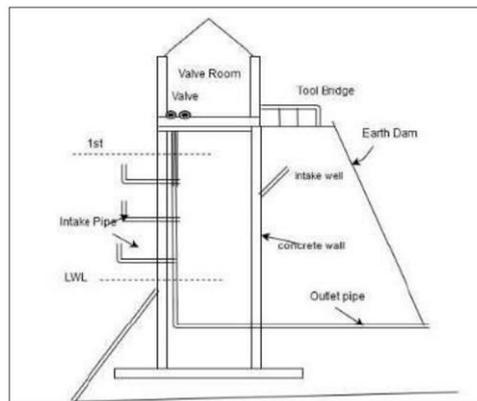


**Gambar 2.3** Canal Intake

Sumber: ([Explain various types of intake structures. \(ques10.com\)](http://ques10.com))

c. *Reservoir Intake*

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

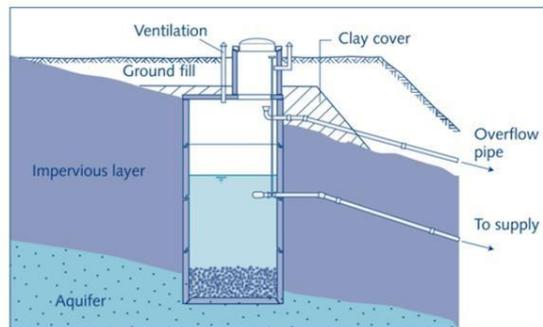


**Gambar 2.4** Reservoir Intake

Sumber: ([Explain various types of intake structures. \(ques10.com\)](http://ques10.com))

d. *Spring Intake*

*Spring Intake* digunakan untuk air baku yang berasal dari mata air ataupun air tanah.p

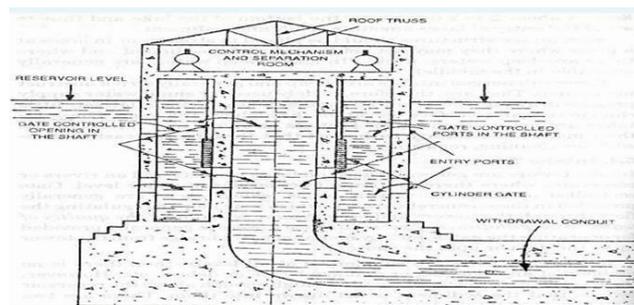


**Gambar 2.5** *Spring Intake*

Sumber: ([Springs | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!](#))

e. *Intake Tower*

*Intake Tower* digunakan untuk air permukaan.

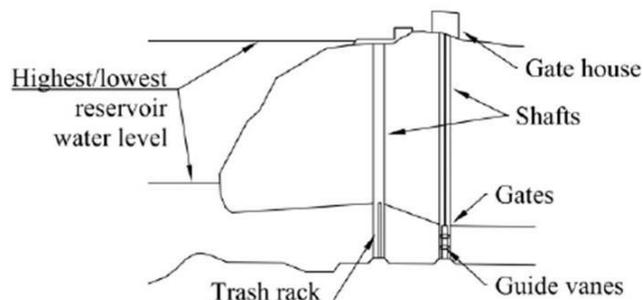


**Gambar 2.6** *Intake Tower*

Sumber: ([gla.ac.in/pdf/intake-for-water-collection.pdf](http://gla.ac.in/pdf/intake-for-water-collection.pdf))

f. *Gate Intake*

*Gate Intake* berfungsi sebagai *screen* dan sebagai pintu air pada prasedimentasi.



### Gambar 2.7 Gate Intake

Sumber: ([Schematic side-view of the intake gates at Homstøl reservoir.](#) | [Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#))

Pada perancangan bangunan kali ini menggunakan *Indirect Intake* (bangunan penyalur tidak langsung) dengan tipe *river intake*. *Intake* ini dinilai lebih ekonomis untuk peruntukan air baku dari air sungai dari tipe-tipe *intake* lainnya. Dinilai lebih ekonomis dikarenakan air sungai memiliki level muka airnya pada musim hujan dan musim kemarau yang berbeda cukup tinggi.

Pemilihan *coarse screen* merupakan pilihan tepat dikarenakan dapat menghilangkan benda-benda berukuran besar yang memiliki ukuran 6-150 mm. Rumus-rumus yang digunakan untuk mencari besaran *intake* dapat dilakukan menggunakan rumusan seperti di bawah ini:

1. Mencari debit intake

$$Q = \frac{Q \text{ kapasitas produksi}}{\Sigma \text{ pipa}}$$

Keterangan:

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\Sigma$  = jumlah pipa *intake*

2. Mencari luas pipa *intake*

$$A = \frac{Q \text{ pipa intake}}{V}$$

Keterangan

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  = kecepatan ( $\text{m}/\text{s}$ )

3. Mencari diameter pipa *intake*

$$D = \left( \frac{4 \times A}{\pi} \right)$$

Keterangan:

$D$  = diameter pipa (m)

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

4. Rumus kecepatan (V)

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

Keterangan:

$V$  = kecepatan (m/s)

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

5. *Head losses mayor* sepanjang pipa

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

Keterangan:

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>/s)

$\Sigma$  = jumlah pipa *intake*

6. *Head losses minor* (H<sub>m</sub>)

$$H_m = \frac{K \times V^2}{2g}$$

Keterangan:

$H_m$  = *minor losses* (m)

$K$  = koefisien kehilangan energi

$V$  = kecepatan (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/s)

7. Mencari *slope* pipa

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

Keterangan:

$S$  = *slope* pipa (m/m)

$H_f$  = *head losses* (m)

$L$  = panjang pipa (m)

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

$$D = n \times d \times (n + 1) \times r$$

Keterangan:

$n$  = jumlah kisi

$d$  = lebar batang kisi (m)

$r$  = jarak antar kisi (m)

$D$  = lebar *screen* (m)

9. Mencari *velocity head* ( $h_v$ )

$$h_v = \frac{vc^2}{2g}$$

Keterangan:

$h_v$  = *velocity head* (m)

$V$  = kecepatan (m/s<sup>2</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/s)

10. *Headloss* melalui *screen*  
( $H_{f\text{screen}}$ )

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

$\beta$  = koefisien *minor losses* (m)

$w$  = lebar *bar* (cm)

$b$  = jarak antar *bar* (cm)

**Tabel 2.2 Faktor Minor Losses Bar**

Bentuk Bar	Nilai Minor Losses ( $\beta$ )
<i>Shaped edge rectangular</i>	2,42
<i>Rectangular with semicircular up stream face circular</i>	1,83
<i>Circular</i>	1,79
<i>Rectangular with semicircular up stream and down stream face</i>	1,67
<i>Tear shape</i>	0,765

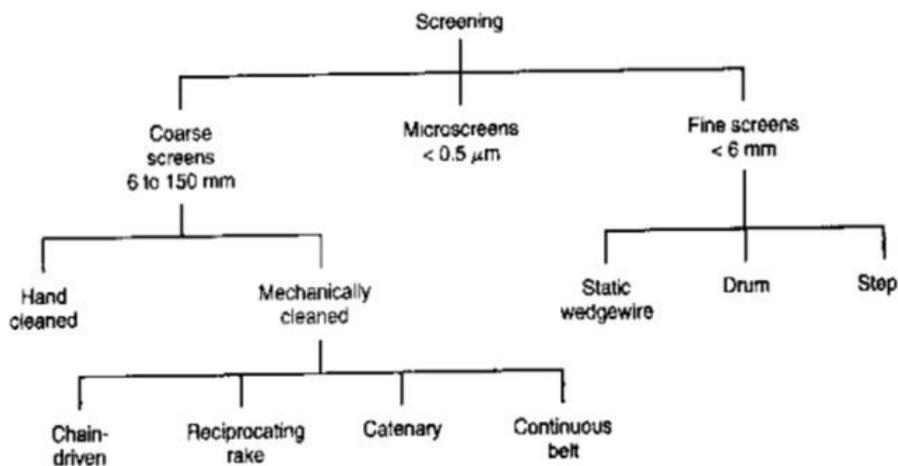
Sumber: (Qasim, 2000)

b) Bar Screen

*Screening* atau saringan dilakukan pada tahap paling awal dalam proses pengolahan air limbah. Secara umum, proses *screening* dilakukan untuk memisahkan berbagai benda padat yang ada pada air limbah seperti kertas, plastik,

kayu, kain, dan benda padat lainnya. Benda-benda tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemompaan dan unit peralatan pemisah lumpur serta sistem perpipaan jika tidak dipisahkan terlebih dahulu dalam air limbah (Said, 2017). Tujuan dari unit ini adalah untuk menahan sampah/benda-benda padat besar yang terbawa dalam lumpur tinja agar tidak mengganggu dan mengurangi beban pada sistem pengolahan selanjutnya (Dirjen Cipta karya, 2013).

Screening diklasifikasikan menjadi 3, ditunjukkan pada gambar 2.8. Didalamnya terdapat batang paralel, batang atau kawat, kisi-kisi, kasa kawat, atau pelat berlubang, dan bukaan dapat berbentuk apapun tetapi umumnya adalah slot melingkar atau persegi panjang. *Screen* yang terdiri dari batang atau batang paralel sering disebut “*bar rack*” atau *coarse screen* dan digunakan untuk menghilangkan padatan kasar. (Metcalf & Eddy, 2003).



**Gambar 2.8** Kriteria Screen

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003 Hal 315)

**a) Coarse Screen** (Penyaring Kasar)

Penyaring kasar atau coarse screen digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. Screening dengan pembersihan secara mekanik, bahannya terbuat dari stainless steel atau dari plastik.



**Gambar 2.9** Coarse Screen (Penyaring Kasar)

Sumber: ([Inclined Mechanical Coarse Bar Screen For Municipal Wastewater Treatment - Buy Multi-rake Coarse Bar Screen, Multiple Rake Bar Screen Mechanical Wastewater Filtration, Mechanical Rotary Trash Rake Bar Screens Waste Water Treatment Plant Product on Alibaba.com](#))

**Tabel 2.3** Kriteria Perencanaan Coarse Screen

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
Ukuran Batang						
Lebar	Inch	0,2-0,6	0,2-0,6	mm	5-15	5-15
Kedalaman	Inch	1,0-1,6	1,0-1,6	mm	25-38	25-38

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik
Jarak Antar Batang	Inch	1,0-2,0	0,6-3,0	mm	25-50	15-75
Kemiringan terhadap vertikal	o	30-45	0-30	o	30-45	0-30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0-2,0	2,0-3,25	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Minimum	Ft/s		1,0-1,6	m/s		0,3-0,5
Headloss	Inch	6	6-24	mm	150	150-600
Harga	Rp76.000.000,00					

Sumber: (Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Halaman 316)

**b) Fine Screen (Penyaring Halus)**

*Fine screen* atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. Screen ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Premilinary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static wedgewire*), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/*primary clarifier*) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m<sup>3</sup>/dt. *Screen* tipe ini dapat meremoval BOD dan TSS.



**Gambar 2.10** Fine Screen

Sumber: ([Fine Screens at Wastewater Treatment Plant' S Headworks Design Projects - China Fine Screening and Automatic Fine Screen \(made-in-china.com\)](#))

**Tabel 2.4** Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen		Bahan Screen	Penggunaan	
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		inch			mm
Miring (diam)	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel Pengolahan primer	
Drum (Berputar)	Kasar	0,1-,02	2,5-5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel Pengolahan pendahuluan	
	Sedang	0,01-0,1	0,25-2,5	Ayakan Pengolahan	

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran			
		inch	mm		
				kawat terbuat dari stainless-steel	primer
	Halus	-	6-35 $\mu\text{m}$	Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
	Sedang	0,06	0,17	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
Horizontal Reciprocating Tangential	Halus	0,0475	1200 $\mu\text{m}$	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa
Harga	Rp38.000.000,00				

Sumber: (Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Tabel 5.4)

### c) *Micro Screen*

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5  $\mu\text{m}$ . Prinsip dari microscreens ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang

berukuran 10 mm x 50 mm.

**Gambar 2.11** Micro Screen



Sumber : ([Microscreen - Hubert](#))

Pada unit pengolahan ini menggunakan bar screen jenis penyaringan kasar atau coarse screen. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini sebagai berikut.

1. Jumlah batang/kisi

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

Keterangan:

$W_s$  = lebar saluran pembawa atau lebar *screen* (m)

$n$  = jumlah batang/kisi

$d$  = lebar batang (m)

$r$  = jarak antar batang (M)

2. Lebar bukaan kisi

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

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

Keterangan:

$W_c$  = lebar bukaan kisi (m)

$W_s$  = lebar saluran pembawa atau lebar *screen* (m)

$n$  = jumlah batang/kisi

$d$  = lebar batang (m)

3. Panjang kisi

$$X = \frac{y}{\sin\theta}$$

Keterangan:

$x$  = panjang kisi (m)

$\sin \theta$  = kemiringan *screen*

$y$  = kedalaman total saluran pembawa atau tinggi *screen* (m)

4. Cek kecepatan setelah melalui kisi

$$v_i = \frac{Q}{W_c \times h}$$

Keterangan:

$v_i$  = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

$Q$  = debit (m<sup>3</sup>/s)

$W_c$  = lebar bukaan kisi (m)

5. *Headloss* pada *bar screen*

Ketika *non clogging*

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

Keterangan:

$h_L$  = *Headloss* saat *clean screen*

$C$  = koefisien *discharge* (0,7 untuk *clean screen*)

$V^2$  = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

$v^2$  = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Ketika *clogging*

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

Keterangan:

$h_L$  = *Headloss* saat *clean screen*

$C$  = koefisien *discharge* (0,6 untuk *clean screen*)

$V^2$  = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa saat tersumbat (m/s)

$v_2$  = kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

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

### c. Bak Penampung

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

Rumus perhitungan yang digunakan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut:

1. Volume bak penampung ( $A_{surface}$ )

$$V = Q \times td$$

Keterangan:

$V$  = Volume bak penampung ( $m^3$ )

$Q$  = debit ( $m^3/s$ )

$td$  = waktu detensi (s)

2. Dimensi bak penampung

$$V = L \times B \times H$$

Keterangan:

$V$  = volume bak penampung ( $m^3$ )

$L$  = panjang bak penampung (m)

$B$  = lebar bak penampung (m)

$H$  = kedalaman bak penampung (m)

3. Ketinggian total bak penampung ( $A_{cross}$ )

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

Keterangan:

$H_{total}$  = kedalaman bak (m)

$H$  = ketinggian air dalam bak penampung (m)

$$\text{Freeboard} = 5\% - 30\%$$

### b. Prasedimentasi

Prasedimentasi dapat 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 ( $v_h$ ), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Paul, 1996).



**Gambar 2.12** Unit Prasedimentasi

Sumber : ([Makalah PAM Sedimentasi - Cara Cararaaa](#))

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 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 effluen, 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 2.5.

**Tabel 2.5** Desain Tipikal Prasedimentasi

<i>Primary sedimentation tanks 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 <sup>2</sup> .d	800-1200	1000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	30-50	40
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft <sup>2</sup> .d	2000-3000	2500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	80-120	100
<i>Weir loading</i>	gal/ft <sup>2</sup> .d	10.000-40.000	20.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .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 <sup>2</sup> .d	600-800	700	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	24-32	28
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft <sup>2</sup> .d	1200-1700	1500	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	48-70	60
<i>Weir loading</i>	gal/ft <sup>2</sup> .d	10.000-40.000	20.000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	125-500	250

Sumber : (Metcalf & Eddy. 2003. page 398)

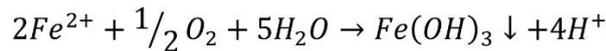
#### 2.4.2 Pengolahan Primer (Primary Treatment)

Pada proses pengolahan tahap pertama ini, proses yang terjadi yaitu secara fisika dan kimia. Pada proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat padat yang tercampur melalui pengapungan dan pengendapan.

##### a. Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penambahan udara ataupun 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).

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  $(OH)_3$ , 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):

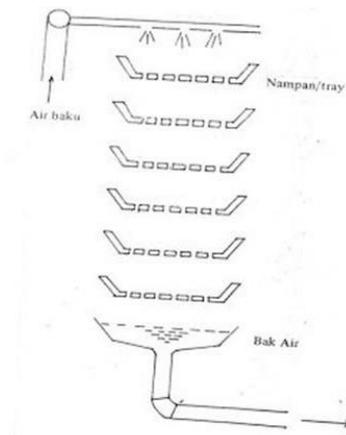


Jenis-jenis metode aerasi, antara lain:

1. *Waterfall aerator* (aerator air terjun)

Pengolahan aerasi dengan metode waterfall/multiple aerator seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang- lubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang 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 setaip tray berikutnya. Tray-tray ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan-lempengan absetos cement berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara parallel.

**Gambar 2.13** *Waterfall Aerator*



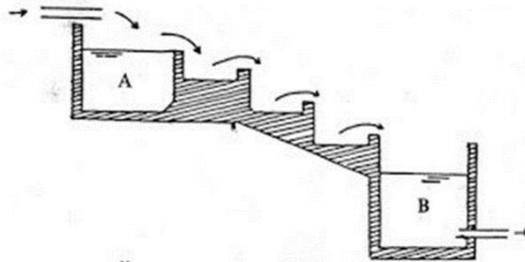
Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam](#))

[Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

2. *Cascade Aerator*

Pada dasarnya *aerator* ini terdiri dari 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m<sup>3</sup>/det per meter. Untuk menghilangkan gerak putaran (*turbulence*) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan *tray aerator*, ruang (tempat) yang diperlukan bagi *cascade aerators* agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.

**Gambar 2.14** *Cascade Aerator*

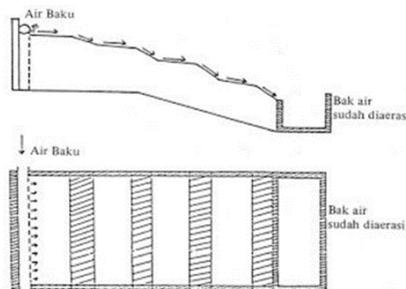


Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

3. *Submerged Cascade Aerator*

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

**Gambar 2.15** *Submerged Cascade Aerator*

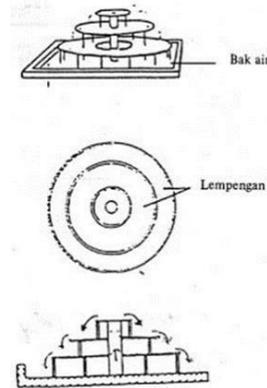


Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

#### 4. *Multiple Plat Form Aerator*

*Multiple Plat Form Aerator* memakai prinsip yang sama, yaitu memiliki lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh terhadap air.

**Gambar 2.16** *Multiple Plat Form Aerator*



Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

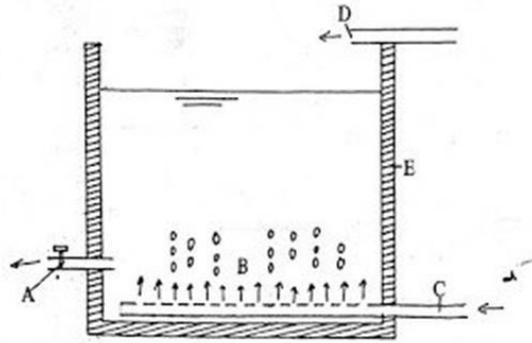
#### 5. *Spray Aerator*

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

#### 6. *Bubble Aerator (Aerator Gelembung Udara)*

Jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi bubble (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3 – 0,5 m<sup>3</sup> udara atau m<sup>3</sup> air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikkan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.

**Gambar 2.17 Bubble Aerator**



Sumber: ([Aerasi : Pengertian, Tujuan, dan Berbagai Macam Metoda Aerasi | Informasi Kesling](#))

7. *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 ponds*). Pemerataan distribusi air diatas *tray* sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 26 inch (5-15 cm) adalah sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalis dari mangan oksida.

*Multiple tray aerator* harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan yang terdapat pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang, karena terjadi kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan atau unsur-unsur tertentu yang ingin dihilangkan. Secara garis besar, desain dan karakteristik operasional *aerator* dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000), sebagai berikut:

**Tabel 2.6** Desain Karakteristik Operasional Aerator

<b>Aerator</b>	<b>Penyisihan</b>	<b>Spesifikasi</b>
Aerator Gravitasi: Cascade	20-45% CO <sub>2</sub>	- Tinggi: 1-3 m - Luas: 85-105 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> .det

Packing tower	>95% VOC >90% CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kecepatan aliran: 0,3 m/det</li> <li>- Diamer kolom maksimum: 3 m</li> <li>- Beban hidrolik: 2000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. hari</li> <li>- Kecepatan aliran: 0,3 m/det</li> </ul>
Tray	>90% CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kecepatan: 0,8-1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. menit</li> <li>- Kebutuhan udara: 7,5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. air</li> <li>- Jarak rak (tray): 30-75 cm</li> <li>- Luas: 50-160 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Det</li> </ul>
Spray Aerator	70-90% CO <sub>2</sub> 25-40 H <sub>2</sub> S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tinggi: 1-2,9 m</li> <li>- Diameter nozzle: 2,5-4 cm</li> <li>- Jarak nozzle: 0,6-3,6 m</li> <li>- Debit nozzle: 5-10 l/det</li> </ul>
Aerator Bedifusi	80% VOC <sub>8</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luas bak: 105-320 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. det</li> <li>- Tekanan semprotan: 70 kPa</li> <li>- Waktu detensi: 10-30 menit</li> <li>- Udara: 0,7-1,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Air</li> <li>- Tinggi kedalaman: 2,7-</li> </ul>

Aerator Mekanis	70-90% CO <sub>2</sub> 25-40 H <sub>2</sub> S	4,5 m - Lebar: 3-9 m - Lebar/kedalaman: < 2 volume - Maksimum: 150 m <sup>3</sup> - Diameter lubang diffuser: 2-5 mm  - Waktu detensi: 10-30 menit - Kedalaman tangki: 2-4 m
-----------------	--	---

Sumber: (Qasim et al., 2000)

#### b. Koagulasi

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan sibubuhkan 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). Pada tabel 2.6 dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

**Tabel 2.7** Jenis-Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ X = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium aluminate	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0-7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$Aln(OH)mCl_3$ n-m	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8
Ferric sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	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. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu:

#### 1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat 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 6-9.

#### 2. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

#### 3. Dosis Koagulan

Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Dosis koagulan persatuan unit kekeruhan rendah, akan lebih kecil

dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflokk yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

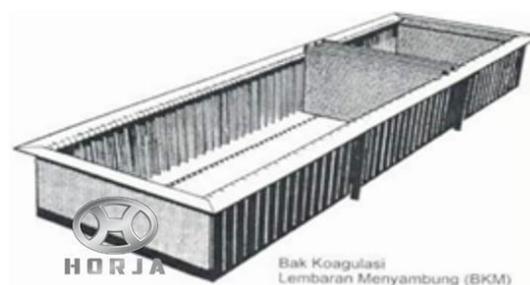
#### 4. Pengadukan (mixing)

Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflokk. 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 dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibanding dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

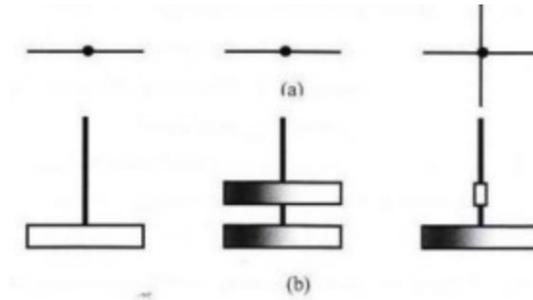
**Gambar 2.18** Bak Koagulasi



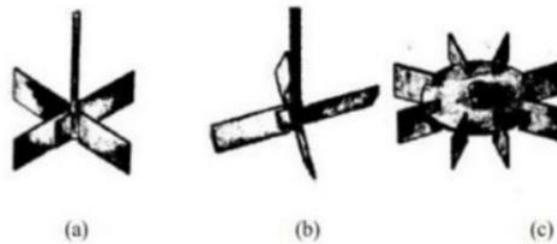
Sumber: ([Bak Koagulasi Lembaran Menyambung \(BKM\) | Pabrikasi Alat dan Mesin Pertanian \(alatpertanian.net\)](#))

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan *pneumatic*. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan

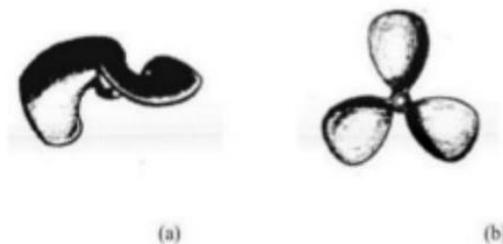
alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balong-baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu  $G$  dan  $td$ . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta  $KL$  dan  $KT$ .



**Gambar 2.19** Tipe Paddle: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping  
 Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2012 hal.112)



**Gambar 2.20** Tipe Turbin: (a) Paddle; (b) Propeller; (c) Turbin  
 Sumber: (Qasim, 2000)



**Gambar 2.21** Tipe Propeller: (a) 2 blade; (b) 3 blade

Sumber: (Qasim, 2000)

**Tabel 2.8** Kriteria Impeller

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

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:185)

**Tabel 2.9** 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, 1996:184)

**Tabel 2.10** Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), Di/Wi=4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, Di/Wi=8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, Di/Wi=6	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, Di/Wi=8	71,0	3,82

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188)

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi beserta rumus perhitungannya:

1. Gradien kecepatan (G)

Gradien kecepatan (G) merupakan perbedaan kecepatan antar dua titik atau volume terkecil fluida yang tegak lurus perpindahan. Gradien kecepatan berhubungan dengan waktu pengadukan. Nilai G yang terlalu besar dapat mengganggu titik akhir pembentukan flok.

$$G = \left( \frac{\rho}{\mu \times c} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan (det-1)

$P$  = power pengaduk

$\mu$  = viskositas absolut

$C$  = volume bak ( $m^3$ )

2. Waktu kontak (td)

Waktu kontak adalah nilai kontak antara partikel kimia dengan air baku yang dipengaruhi oleh volume bak dan debit air baku.

$$td = \left( \frac{\text{volume}}{\text{debit}} \right)$$

3. Putaran rotasi pengaduk (n)

$$n^3 = \frac{\rho \times gc}{Dt^5 \times Y \times Kt}$$

Keterangan :

$N$  = putaran rotasi pengaduk (rps)

$P$  = power pengaduk

$gc$  = kecepatan gravitasi

$Dt$  = diameter pengaduk

$\gamma$  = densitas air

$Kt$  = konstanta pengaduk untuk turbulensi

4. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan untuk menentukan apakah aliran itu laminar, turbulensi atau transisi

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho \text{ air}}{\mu}$$

$Di$  = Diameter impeller

$n$  = Kecepatan putaran propeller

$\rho \text{ air}$  = Massa jenis air

$\mu$  = Viskositas absolut

b. Flokulasi

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang berukuran lebih besar. Flokulasi dibedakan menjadi:

1. Mikroflukasi (*flokulasi perikinetik*) terjadi ketika partikel teragregasi

karena Gerakan termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut *Brownian Motion*.

2. Makroflokulasi (*flokulasi ortokinetik*) terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien-gradien kecepatan dan pencampuran dalam media. Bentuk lain dari makroflokulasi disebabkan oleh pengendapan diferensial, yaitu ketika partikel-partikel besar menarik partikel-partikel kecil membentuk partikel-partikel yang lebih besar. Makroflokulasi belum efektif sampai partikel-partikel koloid mencapai ukuran 1-10  $\mu\text{m}$  melalui kontak yang didorong oleh *Brownian Motion* dan sedikit pencampuran. (Kristijarti et al., 2013).

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 flokulan untuk mengikat flok-flok kecil dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100  $\text{detik}^{-1}$ ) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan camp) berkisar 48000 hingga 21000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi antara lain:

1. Air sungai  
Waktu detensi = minimum 20 menit  
G = 10-50  $\text{detik}^{-1}$
2. Air waduk  
Waktu detensi = 30 menit  
G = 10-75  $\text{detik}^{-1}$
3. Air keruh  
Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Jika menggunakan garam besi sebagai koagulan  
G tidak lebih dari 50  $\text{detik}^{-1}$

5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
  - G kompartemen 1 : nilai terbesar
  - G kompartemen 2 : 40% dari G kompartemen 1
  - G kompartemen 3 : nilai terkecil
6. Penurunan kesadahan
  - Waktu detensi = 30 menit
  - G = 10-50 detik<sup>-1</sup>
7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
  - Waktu detensi = 15-30 menit
  - G = 20-75 detik<sup>-1</sup>
  - Gtd = 10.000-100.000

(Masduqi & Assomadi, 2012:110)

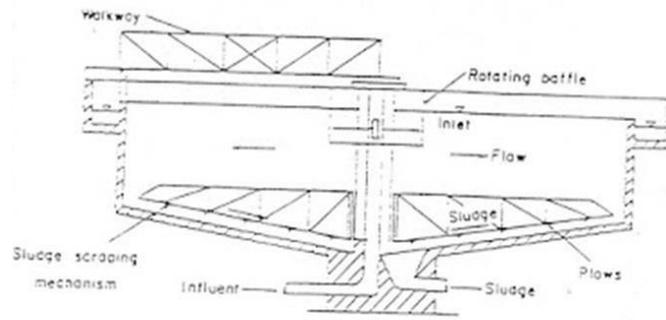
Faktor-faktor yang berpengaruh serta rumus perhitungan pada flokulator, diantaranya yaitu:

1. Gradien kecepatan (G)
2. *Headloss* saluran (Hf)
3. Jumlah sekat/*baffle* (n) untuk *around the end*
- c. Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dari 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:

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

**Gambar 2.22** Bak Sedimentasi



Sumber: ( [Makalah PAM Sedimentasi - Cara Cararaaa](#) )

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel 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
2. Zona Outlet
3. Zona Settling
4. Zona Transisi
5. Zona Sludge

Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini, Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut:

1. Zona Inlet

Pada zona inlet terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ( $\pm$  25% panjang bak)

2. Zona Settling

Pada zona settling terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

3. Zona Sludge

Zona sludge merupakan ruang lumpur, dimana konfigurasi dan

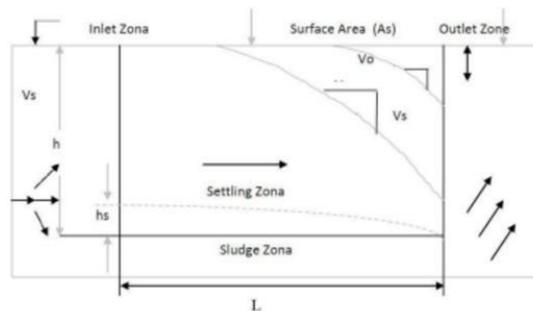
kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

#### 4. Zona Outlet

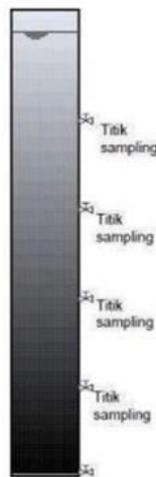
Zona outlet menghasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

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 2.23** Zona Pada Bak Sedimentasi

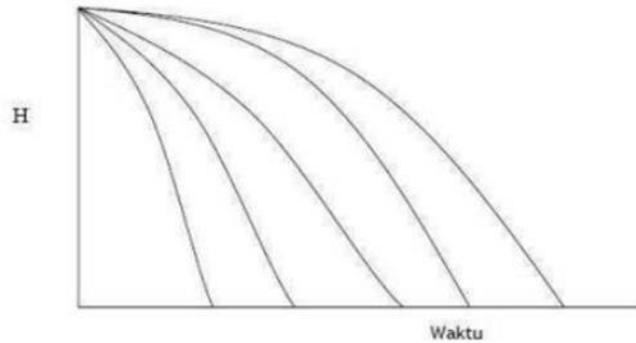


Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)



**Gambar 2.24** Kolom Test Sedimentasi Tipe II

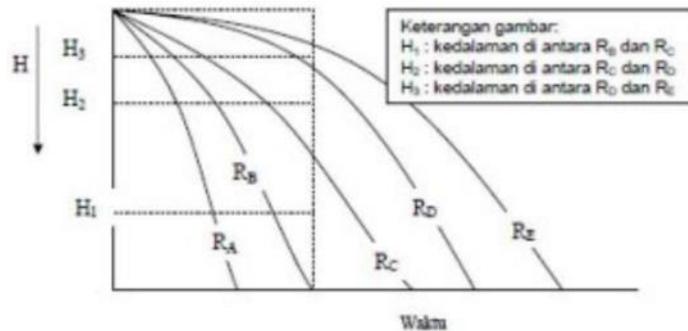
Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)



**Gambar 2.25** Grafik Iso-removal

Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)

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 2.26** Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

Sumber: (Al Layla, *Water Supply Engineering Design*)

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 ( $t_d$ ) dan overflow rate ( $V_o$ ) 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 penyesuain, 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:

1. *Horizontal - flow Sedimentation*

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

Cara kerja bak sedimentasi bentuk *rectangular* (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona settling melalui *baffle* (sekat) agar alirannya menjadi laminar. Di zona settling partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan *supernatant* (airnya) keluar melalui zona outlet. Beberapa keuntungan *horizontal-flow* dibandingkan dengan *up flow* adalah:

- ✓ Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air
- ✓ Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai

dengan operasional dan kondisi iklim

- ✓ Biaya konstruksi murah - Operasional dan perawatannya mudah

Adapun kriteria desainnya jumlah air yang akan diolah ( $Q$ ), waktu detensi, luas permukaan dan kecepatan pengendapan.

## 2. *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.

### **2.4.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)**

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

#### a. 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

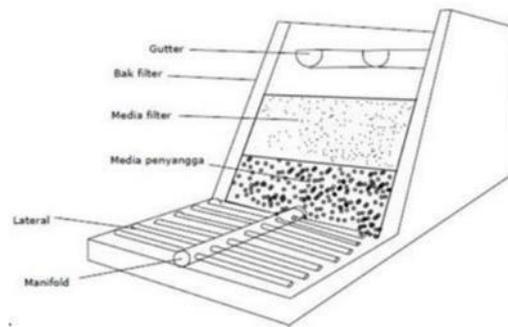
sebagai berikut:

1. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
2. Proses sedimentasi di dalam filter
3. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang sudah terkumpul di atas lapisan filter d. Proses adsorpsi atau proses elektrokinetik
4. Proses koagulasi di dalam filter
5. Proses biologis di dalam filter
6. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain rapid sand filter, slow sand filter, pressure sand filter, multiple media filters, diatomaceous earth filters, upflow filters dan lain sebagainya. Menurut Al-Layla pada tahun 1980, pada proses purifikasi air, rapid sand filters memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan slow sand filters. Kecepatan pada rapid sand filters ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara 4-5  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$  (namun terkadang laju filtrasinya dapat lebih dari 6  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ ).

Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45-0,55 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 80cm. Proses backwash pada rapid sand filter berbeda dengan slow sand filter. Pada rapid sand filters waktu backwash ditentukan dari headloss filter saat itu.

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukuran nya 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 2.17 dapat dilihat bagian-bagian filter.



**Gambar 2.27** Bagian-bagian filter

Sumber: (Reynolds & Richard, 1996)

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.

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

### 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, 2012:171). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.10.

**Tabel 2.11** Kriteria Filter Pasir Cepat

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6-11	6-11
2.	Pencucian: Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower & atau surface wash	Tanpa/dengan blower & atau surface wash
	Kecepatan (m/jam)	36-50	36-50
	Lama pencucian (menit)	10-15	10-15
	Periode antara dua pencucian (jam)	18-24	18-24
	Ekspansi (%)	30-50	30-50
3.	Dasar filter		
	Lapisan penyangga dari atas ke bawah Kedalaman	80-100	80-100

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
	(mm) Ukuran butir (mm)		
	Kedalaman (mm)	2-5	2-5
	Ukuran butir (mm)	80-100	80-100
	Kedalaman (mm)	5-10	5-10
	Ukuran butir (mm)	80-100	80-100
	Kedalaman (mm)	10-15	10-15
	Ukuran butir (mm)	80-150	80-150
	Filter Nozel	15-30	15-30
	Lebar slot nozel (mm)	<0,5	<0,5
	Presentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	>4%	>4%
Harga	Rp3.800.000		

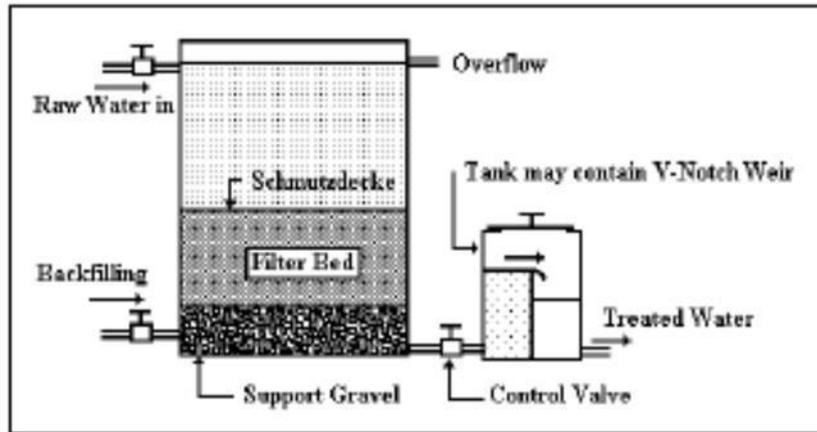
## 2. Filter Pasir Lambat

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 *hypogeal* atau *schmutzdeecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, *fungi*, *protozoa*, *rotifera*, dan larva serangga air. *Schmutzdeecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati *schmutzdeecke*, 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 2.11.

**Tabel 2.12** Kriteria Filter Pasir Lambat

<b>Kriteria</b>	<b>Nilai/Keterangan</b>
Kecepatan filtrasi	0,1 -0,4 m <sup>3</sup> /jam
Ukuran bed	Besar,2000 m <sup>2</sup>
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 di permukaan 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
Harga	Rp1.700.000,00

Sumber: (Schulz & Okun, 1984)



**Gambar 2.28** Filter Pasir Lambat

Sumber: (BAB II 62.pdf (undip.ac.id))

### 3. Filter Bertekanan (*Pressure Filter*)

Pada dasarnya Filter bertekanan (*pressure filter*) 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 2.12.

**Tabel 2.13** Kriteria Filter Pasir Bertekanan

No.	Unit	Nilai/Keterangan
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12-33

No.	Unit	Nilai/Keterangan
2.	Pencucian: Sistem pencucian Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antara dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	Tanpa atau dengan <i>blower</i> & atau <i>surface wash</i> 72-198 30-50
3.	Media pasir Tebal (mm) Single media Media ganda Ukuran efektif (ES) mm Koefisien keseragaman (UC) Berat jenis (kg/L) Porositas Kadar SiO <sub>2</sub>	300-700 600-700 300-600 - 1,2-1,4 2,5-2,65 0,4 >95%
4.	Media antrasit Tebal (mm) ES (mm) (UC) Berat jenis (kg/L) Porositas	400-500 1,2-1,8 1,5 1,35 0,5
5.	Dasar Filter Nozel Lebar slot nozel (mm) Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	<0,5 >4%

Sumber: (SNI 6774-2008)

#### 1. Hidrolika Pencucian (*Backwash*)

Apabila hidrolika pencucian (*Backwash*) 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 :

1. Menggunakan menara air
2. Interfilter

#### **2.4.4 Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)**

Menurut (Sugiharto, 1987), pada proses pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya. Unit pengolahan tersier ini terdiri dari:

##### **a. Desinfeksi**

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

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

1. Menghilangkan bau.
2. Mematikan alga.

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

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

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

Dalam perancangan kali ini, kami menggunakan metode 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 (Benny, 2008).

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. 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 (Said, 2009).

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., 2003). Berikut adalah berbagai macam desinfeksi dengan metode yang berbedabeda 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

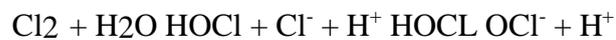
ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O<sub>2</sub> berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi akan menghasilkan lompatan electron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Jika elektroda mencapai kecepatan cukup, maka akan 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

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.

### ***b. Reservoir***

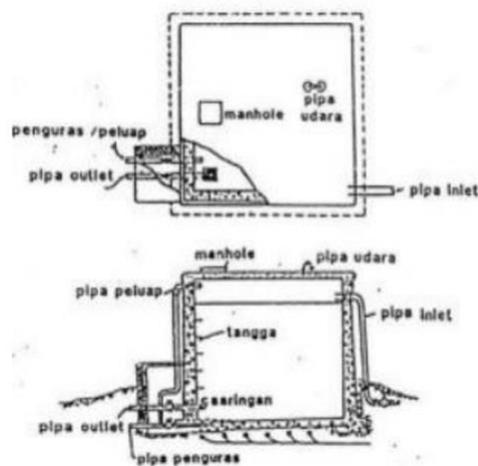
Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan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



**Gambar 2.29** Reservoir Permukaan Sumber: (BPSDM PU)

2. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)

Reservoar menara adalah reservoar yang seluruh bagian penampungannya terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.



**Gambar 2.30** Reservoar Menara

Sumber: (BPSDM PU)

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

1. Reservoar Tanki Baja

Banyak Reservoar menara dan “*standpipe*” atau Reservoar 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 2.31** Reservoar Tangki Baja



Sumber: ([Qdhy Tangki Reservoir Penyimpanan Air Baja,Kaca Menyatu Dengan Tangki Baja Dirakit Berenamel - Buy Water Reservoir Storage Tank,Pvc Water Storage Tank,50 M3 Water Storage Tank Product on Alibaba.com](#))

#### 1. Reservoir Beton Cor

Tangki 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 2.32** Reservoir Beton Cor

Sumber: ([Aplikasi dan Fungsi Ground Tank Beton Berikut Pemeliharaan | Supplier Beton Cor \(readymix.co.id\)](#))

#### 2. 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



### Gambar 2.33 Reservoir *Fiberglass*

Sumber: (<http://www.pancawira.com/reservoir.html>)

#### 2.4.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Dari pengolahan air limbah maka didapatkan hasil berupa lumpur yang perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan. Sludge dalam disposal sludge memiliki masalah yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan karena:

1. Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang bertanggung jawab untuk menimbulkan bau.
2. Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik.
3. Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0.25% - 12% solid).

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

1. Mereduksi kadar lumpur
2. Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

Terdapat berbagai macam jenis pengolahan lumpur yang digunakan dalam industri-industri saat ini. Banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih pengolahan lumpur yang sesuai dengan kuantitas lumpur yang dibuang, salah satu pertimbangan yang paling penting yaitu efektifitas pengolahan lumpur dan waktu yang tidak terlalu lama dalam proses pengolahan lumpur.

##### a. *Sludge Thickener*

*Sludge thickener* adalah suatu bak yang berfungsi untuk menaikkan kandungan solid dari lumpur dengan cara mengurangi porsi fraksi cair (air), sehingga lumpur dapat dipisahkan dari air dan ketebalannya menjadi berkurang atau dapat dikatakan sebagai pemekatan lumpur. Tipe *thickener* yang digunakan adalah *gravity thickener* dan lumpur berasal dari bak pengendap I dan pengendap II. Pada

sistem *gravity thickener* ini, lumpur diendapkan di dasar bak *sludge thickener*.  
 Kriteria Rumus (*Sludge Thickener*) yang digunakan:

### A. Dimensi Sludge Thickener

1. Beban massa Kekeruhan dan TDS dalam *influent*

$$\text{Massa in lumpur} = (\text{Konsentrasi kekeruhan} + \text{konsentrasi TDS}) \times \text{Debit}$$

2. Luas permukaan kekeruhan dan TDS dalam *influent*

$$A \text{ in} = \frac{\text{Beban massa kekeruhan dan TDS dalam influent}}{\text{Beban solid}}$$

3. Diameter  $= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$

4. Cek luas permukaan

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

5. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Jari-jari } (r) \times \text{Tinggi } (H)}{\text{Jari-jari } (r) + (2 \times \text{tinggi})}$$

6. Beban hidraulik

$$\text{Beban hidraulik} = \frac{Q}{A \text{ cek}}$$

7. Total konsentrasi solid

$$\text{Total kons. Solid} = \frac{\text{Beban massa kekeruhan dan TDS dalam influent}}{\text{Densitas lumpur} \times Q} \times 100\%$$

8. Beban kekeruhan dan TDS terpadatkan (*effluent*)

$$\text{Beban } \textit{effluent} = \text{Efisiensi penyisihan} \times \text{Massa in}$$

9. Debit lumpur terpekatkan

$$Q \text{ lumpur } \textit{effluent} = \frac{\text{Beban massa kekeruhan dan TDS terpadatkan } (\textit{effluent})}{\text{Konsentrasi solid dalam lumpur} \times \text{Densitas lumpur}}$$

10. Konsentrasi kekeruhan dan TDS dalam lumpur terpekatkan

$$\text{Kons. Effluent} = \frac{\text{Beban massa kekeruhan dan TDS terpadatkan } (\textit{effluent})}{\text{Debit lumpur terpekatkan } (Q)}$$

11. Beban kekeruhan dan TDS dalam supernatant

$$\text{Beban supernatant} = \text{Beban influent} - \text{beban effluent}$$

12. Debit supernatant

$$Q \text{ supernatant} = \text{Debit lumpur influent} - \text{Debit lumpur effluent}$$

13. Konsentrasi kekeruhan dan TDS dalam supernatant

$$\text{Kons. Supernatant} = \frac{\text{Beban supernatant}}{\text{Debit supernatant}}$$

14. Estimasi penyisihan

$$\% \text{ removal} = \frac{\text{kadar influent} - \text{kadar effluent}}{\text{kadar influent}} \times 100\%$$

15. Tinggi ruang lumpur

$$H = \frac{V. \text{ sludge}}{1/3 \times \pi \times (R^2 + r^2 + (R \times r))}$$

16. Tinggi total bangunan

$$H \text{ total} = \text{Tinggi total thickening} + \text{Tinggi lumpur}$$

## B. Zona Inlet

1. Diameter inlet wall

$$D' = 20\% \times \text{Diameter bak}$$

2. Kecepatan air di inlet wall

$$v = \frac{Q_{in}}{A}$$

3. Luas penampang pipa

$$A = \frac{Q_{in}}{v}$$

4. Diameter pipa inlet

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

5. Cek kecepatan pipa inlet

$$v \text{ cek} = \frac{Q_{in}}{A}$$

## C. Perhitungan Pompa Menuju Sludge Drying Bed

1. Debit pompa

$$Q \text{ pompa} = \frac{Q \text{ lumpur}}{\text{Jum.pompa}}$$

2. Luas penampang pipa (A)

$$A = \frac{Q \text{ pompa}}{\text{Kecepatan aliran pipa}}$$

3. Diameter pipa suction dan discharge (D)

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

4. Cek kecepatan (V cek)

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A}$$

5. Hf mayor suction dan discharge (pipa)

$$\text{Hf mayor pipa} = \frac{10,7 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

6. Hf minor suction dan discharge

$$\text{Hf minor} = n \times k \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

7. Head total

$$\text{Head total} = \text{Head statis} + \text{Hf suction} + \text{Hf Discharge}$$

8. Head pompa

$$\text{Head pompa} = \text{Head total} + \text{sisanya tekan (asumsi)}$$

#### D. Zona Outlet

1. Panjang pelimpah (weir)

$$L \text{ weir} = \pi \times D \text{ bak}$$

2. Jumlah V notch

$$n = \frac{L \text{ weir}}{\text{Jarak antar weir}}$$

3. Debit melalui V notch

$$Q = \frac{Q}{n}$$

4. Tinggi limpasan melalui V notch

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

5. Saluran pelimpah

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

6. H

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

7. Luas penampang pipa outlet

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

8. D

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

9. Cek kecepatan pipa inlet

$$v \text{ cek} = \frac{Q_{in}}{A}$$

**b. *Sludge Drying Bed***

*Sludge Drying Bed* pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / *sludge* dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / *sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy et al., 2007). Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m.

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

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

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

*Sludge drying bed* yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau (Metcalf & Eddy et al., 2007). Daya tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun (kg/m<sup>2</sup>.tahun). Rumus yang digunakan pada unit pengolahan *Sludge Drying Bed* adalah sebagai berikut:

1. Tebal media

$$\text{Tebal media} = \text{Tebal pasir} + \text{tebal kerikil} + \text{tebal cake}$$

2. Volume lumpur tiap bed

$$V_b = \frac{\text{Volume total lumpur}}{\text{Jumlah bed}}$$

3. Volume sludge cake

$$V_i = \frac{V_b (1 - P)}{1 - P_i}$$

4. Volume Sludge Drying Bed

$$V = V_i \times T_d$$

5. Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V}{\text{Tebal cake}}$$

6. Volume air

$$V_a = \frac{\text{Volume lumpur total} - (V_i \times T_d)}{\text{Jumlah bed}}$$

7. Kedalaman underdrain

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

8. H total = H total media + H underdrain

9. H total SDB = H total + (H total x 20%)

10. Debit pipa underdrain

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

11. Diameter pipa

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

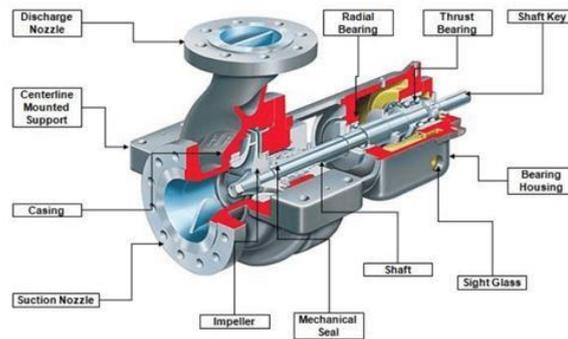
## 2.5 Aksesoris Perancangan Bangunan

### a. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan pengaliran yang berupa perbedaan tekanan, ketinggian, atau hambatan gesek. Pada prinsipnya pompa dapat mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida, energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa memiliki dua kegunaan, yaitu untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ketempat lainnya dan untuk mensirkulasikan cairan sekitar sistim. Pompa sendiri memiliki bermacam-macam jenis, yaitu:

#### 1. *Sentrifugal Pump*

*Sentrifugal Pump* merupakan pompa dengan susunan atas sebuah impeller dan saluran inlet di tengah-tengahnya. Ketika impeller berputar, fluida akan mengalir menuju casing di sekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penggunaan pompa sentrifugal di dunia mencapai angka 80% karena penggunaannya yang cocok untuk mengatasi jumlah fluida yang besar daripada pompa *positive-displacement*.



**Gambar 2.34** *Sentrifugal Pump*

Sumber: ([Pengertian Pompa Sentrifugal Manfaat, Cara Kerja dan Keunggulannya \(serviceacjogja.pro\)](#))

## 2. *Rotary Pump*

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



**Gambar 2.35** *Rotary Pump*

Sumber: ([Rotary displacement pumps | The Best Chemical Handling Pumps - IWAKI \(iwakipumps.jp\)](#))

### 3. *Gear Pump*

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

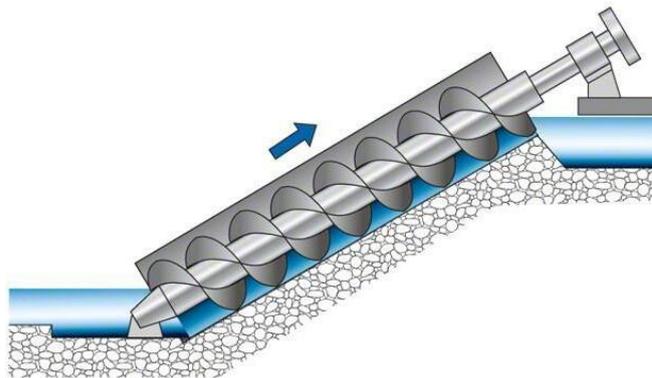


**Gambar 2.36** *Gear Pump*

Sumber: ([Chemical gear pumps GM-V series | The Best Chemical Handling Pumps - IWAKI \(iwakipumps.jp\)](#))

### 4. *Screw Pump*

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



**Gambar 2.37** *Screw Pump*

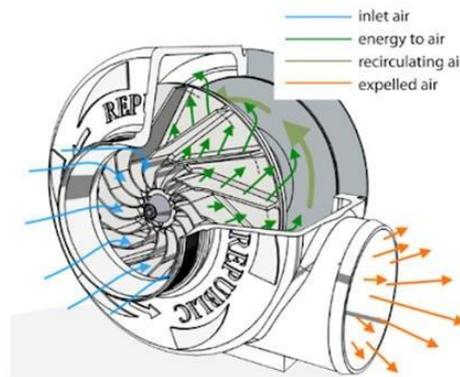
Sumber: ([Archimedean screw pump \(ksb.com\)](#))

## b. *Blower*

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

### 1. *Blower* Sentrifugal

*Blower* Sentrifugal merupakan *blower* dengan memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. *Blower* sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 2.38** *Blower* Sentrifugal

Sumber: ([Mesin dan Proses: Prinsip Kerja Blower Centrifugal \(sarmansilverius.blogspot.com\)](#))

### 2. *Blower* Positive Displacement

*Blower* Positive Displacement merupakan *blower* yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah *blower*. *Blower* ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan system nya bervariasi. *Blower* ini berputar lebih pelan daripada *blower* sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh belt untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.



**Gambar 2.39** *Blower Positive Displacement*

Sumber: ([Positive Displacement Blower series GM | Contact AERZEN FRANCE \(industry-plaza.com\)](#))

### c. Pipa

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

#### 1. *Shock* pipa/*Socket*

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

- *Shock* pipa PVC polos, yang digunakan untuk menyambung dua pipa PVC dengan ujungnya tidak ada ulir atau drat.
- *Shock* pipa drat luar, pada kedua ujung *shock* nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan *shock* pipa drat dalam.
- *Shock* pipa drat dalam, pada kedua ujung *shock* nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan *shock* pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 2.40** (a) *shock* pipa polos (b) *Shock* pipa drat luar (c) *shock* pipa drat dalam

Sumber: ([Mengenal Jenis Jenis Aksesoris Pipa PVC yang Digunakan PDAM - Mengalir hingga jauh \(mengalirjauh.blogspot.com\)](#))

## 2. *Elbow*

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

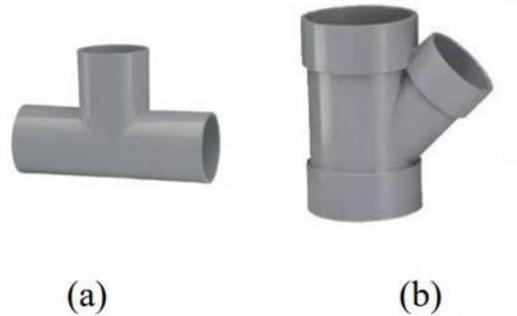


**Gambar 2.41** *Elbow*  $90^\circ$  dan  $45^\circ$

Sumber: ([1.5 "Female Female Ulir Pipe Fitting Elbow Moonshine Stainless Steel 90/45 Degree|Pipa| - AliExpress](#))

### 3. Tee

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



**Gambar 2. 44** (a) Tee bentuk T (b) Y branch

Sumber: ([√ Harga RUCIKA Y-Branch \(D-Y\) 3 Inch Terbaru | Bhinneka](#))

### 4. Reducer

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



**Gambar 2.42** Reducer

Sumber: ([PVC Pipe Fittings / TS Fittings / Reducing Socket from MISUMI | MISUMI \(misumi-ec.com\)](#))

### 3. Dop/plug/cap/clean out

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



**Gambar 2.43** *Dop/plug/cap/clean out*

Sumber: ([PVC Pipe Plug, Size: 3/4 inch at Rs 10/piece in Vadodara | ID: 16895420588 \(indiamart.com\)](#))

## 2.6 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan air minum adalah menurunkan beban pencemar pada sumber air sungai tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Berikut merupakan persentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literatur yang ada pada tabel berikut.

**Tabel 2.14** Persen Removal

No.	Unit Bangunan	% Removal	Sumber Literatur
<b>PRE-TREATMENT</b>			
1.	<i>Intake</i>	-	-
2.	Prasedimentasi	Kekeruhan = 65% - 80%	Ali Masduqi, Hal. 171

<b>PRIMARY TREATMENT</b>			
3.	Aerasi	Fe = 60% - 90%	Droste, Hal. 171
4.	Koagulasi - Flokulasi	-	-
5.	Sedimentasi	Kekeruhan = 65% - 80%	Ali Masduqi, Hal. 171
		TDS = 65%	Droste, 1997 Hal 224
<b>SECONDARY TREATMENT</b>			
6.	Filtrasi	Kekeruhan = 90% - 100%	Droste, 1997 Hal 224
		TDS = 35%	
		Fe = 90%	
<b>TERTIARY TREATMENT</b>			
7.	Desinfeksi	Total Coliform = 100%	Droste, 1997 Hal 224
		E. Coli = 100%	

(Sumber: Data Perencanaan, 2024)

## 2.7 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 IPAM 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.

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis "*hidrolik grade line*" dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (*influen-effluen*) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

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

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

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

- b) Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram "Hazen William"  $Q$  atau  $V$  diketahui maka  $S$  didapat dari monogram.

- c) Kehilangan tekanan pada aksesoris

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

d) Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya. d) Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

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

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

## 2.8 BOQ dan RAB

### 2.8.1 BOQ (Bill Of Quantity)

BOQ (daftar kuantitas), adalah perincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. Yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap dan sebagainya. Karakteristik BOQ:

1. Dalam BoQ masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume,
2. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga,
3. Dalam BoQ tidak tercantum harga satuan pekerjaan,

4. Menghitung volume BOQ berdasarkan gambar rencana,
5. Pihak yang menyusun BOQ adalah konsultan perencana.

Tujuan membuat BOQ adalah:

1. Sebagai perhitungan awal, untuk mengetahui jumlah biaya yang harus disiapkan oleh Owner untuk pelaksanaan proyek.
2. Untuk keperluan pelaksanaan proses tender (lelang) proyek,
3. Berguna sebagai acuan/dasar bagi peserta lelang (kontraktor) untuk mengajukan penawaran harga.

### **2.8.2 RAB (Rincian Anggaran Biaya)**

RAB Adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang kita anggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat maupun biaya/upah tenaga kerja. RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek, atau hanya meliputi 1 sub pekerjaan saja. Misalnya RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik dan seterusnya. Karakteristik RAB:

1. Dalam RAB telah tercantum seluruh item pekerjaan, volume serta harga satuan pekerjaan,
2. Item pekerjaan, volume dan harga satuan yang ada dalam RAB sifatnya mengikat. Artinya tidak dapat berubah (bertambah atau berkurang) kemudian hari,
3. RAB oleh masing-masing peserta lelang (kontraktor), sehingga volume dan harga satuan pekerjaan pasti berbeda.

Tujuan membuat RAB adalah:

1. Pada proyek berskala kecil yang tidak menggunakan jasa konsultan perencana, misalnya pembangunan rumah tinggal. Kontraktor selalu melakukan perhitungan RAB untuk diajukan kepada owner. Sementara kasus yang sedikit berbeda, jika kontraktor ingin nge-sub salah satu pekerjaan dari maincont. Walaupun sebenarnya maincont memiliki BoQ, namun tak jarang kontraktor harus melakukan perhitungan RAB.
2. Ketika maincont menyatakan agar subcont melakukan perhitungan RAB,

maka secara otomatis BoQ yang disusun oleh konsultan perencana tidak berlaku. Dengan kata lain BoQ tersebut menjadi rahasia oleh maincont, yang tidak perlu diketahui oleh subcont.