

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Baku

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Pasal 1 angka 1, menentukan bahwa air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

Berdasarkan peraturan tersebut, dapat disimpulkan bahwa air baku air minum adalah air yang berasal dari sumber air yang memenuhi baku mutu tertentu yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, baik melalui pemrosesan maupun tanpa diproses terlebih dahulu. Air baku atau raw water merupakan awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air bersih. Air baku dipergunakan sebagai bahan pokok untuk diolah menjadi air minum.

Suplai air bersih untuk kebutuhan manusia harus memenuhi empat konsep dasar, diantaranya kuantitas, kualitas, kontinuitas, dan ekonomis. Jika dilihat dari segi kuantitas, air harus cukup untuk memenuhi segala kebutuhan manusia. Sedangkan dari segi kualitas, air harus memenuhi persyaratan kesehatan terutama jika diperuntukkan untuk air minum harus mengacu pada baku mutu yang ditetapkan yaitu Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Selanjutnya dilihat dari segi kontinuitas, air selalu ada berputar pada siklusnya dan tidak pernah hilang, dan yang terakhir dilihat dari segi ekonomis, harga jual air sangat dibutuhkan oleh semua golongan tanpa terkecuali.

2.1.1. Sumber Air Baku

Sumber air baku yang dapat diolah untuk digunakan sebagai air minum adalah air tanah dan air permukaan. Berikut mengenai penjelasannya, yaitu:

1. Air Tanah

Air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Kecepatan aliran air tanah ini secara alami sangatlah kecil, yaitu berkisar antara 1,5 m/hari – 2 m/hari.

Karakteristik geologi seperti morfologi dan jenis batuan berikut luas pelamparan serta ketebalan lapisan, berakibat pada terbentuknya struktur kedap air dan lulus air. Berdasarkan sifat fisik air tanah dengan simpanan rendah dan mutu air

yang asin atau payau sehingga tidak memenuhi persyaratan air minum (Astono, 2011).

2. Air Permukaan

Air permukaan merupakan air yang berada di permukaan, contohnya sungai, rawa, danau dan mata air. Sebagai sumber air baku untuk air minum, maka air permukaan harus memenuhi kualitas oksigen yang terlarut, pH yang sesuai, kandungan zat padat, kandungan bakteri, kehadiran zat beracun, temperatur, material organik, dan parameter lainnya. Air permukaan yang banyak digunakan untuk sumber air baku pengolahan air minum adalah air sungai dan air danau.

2.1.2. Syarat Kualitas Air Baku

Pada dasarnya setiap sumber air dapat digunakan sebagai sumber air baku untuk air minum. Namun karena pertimbangan keterbatasan akses teknologi dan biaya maka pada umumnya hanya air dengan kualitas tertentu saja yang dipakai untuk air baku. Semakin bagus kualitas air baku semakin disukai untuk menjadi air baku air minum.

Syarat Kualitas Air Baku secara umum dibagi menjadi tiga faktor yang harus dimiliki air baku pada sistem pengolahan air minum, yaitu:

a. Persyaratan Kualitatif

Persyaratan kualitatif menggambarkan mutu atau kualitas dari air baku air bersih.

Terdapat 4 syarat, yaitu:

1. Syarat Fisik

Air minum harus jernih, tidak berwarna, berbau, dan berasa.

2. Syarat Kimia

Air minum tidak boleh mengandung pH yang tinggi, zat organik, dan anorganik, serta kadar mineral harus seimbang.

3. Syarat Bakteriologis atau Mikrobiologis

Air minum tidak boleh mengandung bakteri patogen dan parasit.

4. Syarat Radiologis

Air minum tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan yang mengandung radioaktif.

b. Persyaratan Kuantitatif

Penyediaan air ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Air baku dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan jumlah penduduk yang akan dilayani.

c. Persyaratan Kontinuitas

Air diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan (Mananoma, 2016).

2.2. Standar Kualitas Air Minum

Standarisasi kualitas air minum diperuntukkan bagi kehidupan manusia, tidak mengganggu kesehatan dan secara estetika diterima, serta tidak merusak fasilitas penyediaan air bersih itu sendiri. Agar kualitas air yang akan dikonsumsi dapat memenuhi persyaratan kesehatan, maka menteri kesehatan mengeluarkan peraturan berupa persyaratan kualitas air minum seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan No 907/Menkes/Per/IX/2002.

Standar air minum merupakan angka-angka batasan pada beberapa parameter air yang menjadi acuan bagi para praktisi dalam mengolah dan membagikan air minum. Air minum yang merupakan air olahan harus memenuhi persyaratan tertentu dalam standar sehingga dapat dikonsumsi langsung oleh manusia. Persyaratan tertentu tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010. Standar air minum dapat berbeda antara negara yang satu dengan lainnya, tergantung kemampuan akses setiap negara. Namun pada umumnya dunia internasional memakai standar air minum dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebagai acuan.

Tabel 2.1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1.	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1. Escherichiacia Coli	Jumlah/100 mL	0
	2. Total Bakteri Coliform	Jumlah/100 mL	0
	b. Kimia Anorganik		
	1. Arsen	mg/L	0,01
	2. Fluorida	mg/L	1,5
	3. Total Kromium	mg/L	0,05
	4. Kadmium	mg/L	0,003
	5. Nitrit (sebagai NO ₂)	mg/L	3,0
	6. Nitrat (sebagai NO ₃)	mg/L	50
	7. Sianida	mg/L	0,07

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
	8. Selenium	mg/L	0,1
2.	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1. Bau		tak berbau
	2. Warna	TCU	15
	3. Total Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	500
	4. Kekeruhan	NTU	5
	5. Rasa		tak berasa
	6. Suhu	°C	Suhu udara + 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1. Alumunium	mg/L	0,2
	2. Besi	mg/L	0,3
	3. Kesadahan	mg/L	500
	4. Khlorida	mg/L	5,0
	5. Mangan	mg/L	0,4
	6. pH		6,5 - 8,5
	7. Seng	mg/L	3,0
	8. Sulfat	mg/L	250
	9. Tembaga	mg/L	2,0
	10. Amonia	mg/L	1,5

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 82 tanggal 14 Desember tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, maka klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 golongan, yaitu:

a. Golongan I (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. Golongan II (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. Golongan III (tiga)

Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

d. Golongan IV (empat)

Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Pada parameter fisik, unsur-unsur yang harus diperhatikan adalah kekeruhan, warna, zat padat terlarut, dan suhu. Pada parameter kimia, unsur-unsur yang perlu diperhatikan adalah derajat keasaman (pH), senyawa organik, seperti logam, sulfida, dan lain-lain. Sedangkan pada parameter mikrobiologi, unsur-unsur yang perlu diperhatikan adalah bakteri coliform.

2.3. Pemilihan Lokasi Bangunan Air Minum

Lokasi bangunan pengolahan air minum didasarkan pada jaraknya dari intake, layout bangunan yang diperoleh, pengaruh terhadap lingkungan sekitar, dan metode dari distribusi yang akan direncanakan. Menentukan lokasi bangunan pengolahan merupakan salah satu hal yang penting dalam perencanaan bangunan pengolahan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih lokasi, seperti:

- a) Lokasi geografis;
- b) Biaya konstruksi;
- c) Ketersediaan dari sumber tenaga dan fasilitas penunjang lainnya;
- d) Diusahakan cukup dekat dengan sumber air dan konsumen sehingga dapat menghemat biaya distribusi, perpipaan transmisi, dsb;
- e) Keamanan operasi dan instalasi sebagai bangunan vital terhadap kemungkinan gangguan dari luar;
- f) Transport menuju instalasi, demi lancarnya pengangkutan bahan-bahan kimia dan tenaga operator;
- g) Jika distribusi air secara gravitasi dan tanpa menggunakan menara air, maka ketinggian lokasi instalasi harus cukup;

- h) Kondisi geologis (kondisi tanah) perlu diperhatikan bagaimana membangun pondasi yang kokoh dan sesuai dengan karakteristik tanah yang ada; dan
- i) Kemungkinan perluasan di masa yang akan datang, tanah yang tersedia harus cukup luas sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan pengembangan atau perluasan di kemudian hari.

2.4. Tata Letak Bangunan Pengolahan

Dalam instalasi pengolahan air minum, tata letak bangunan pengolahan perlu direncanakan sebaik mungkin. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bangunan pengolahan air minum adalah sebagai berikut:

1. Disesuaikan dengan urutan proses pengolahan atau sesuai dengan diagram alir
2. Disesuaikan dengan tipe desain, misalnya dengan memperhatikan besar nilai debit dan keuntungan dan kerugian dalam tata letak bangunan
3. Harus memudahkan dalam pengoperasiannya, misalnya:
 - Letak bangunan yang memerlukan bahan kimia harus berdekatan dengan tempat menyiapkan larutan atau bahan kimia tersebut
 - Letak bagian – bagian yang perlu mendapatkan pengawasan jaraknya sekecil mungkin, agar mudah dalam pengawasan operator
 - Perlu disediakan laboratorium untuk pengujian kualitas air setelah melewati bangunan pengolahan, dimana jarak laboratorium cukup dekat dengan tempat pengambilan contoh yang diperiksa secara berkala
 - Adanya tempat untuk mengontrol peralatan (ruang perpipaan, ruang kontrol, rumah pompa, dan lain-lain)
 - Ada jarak yang cukup antara bangunan sehingga memudahkan petugas untuk berlalu lalang atau cukup lapang apabila diperlukan perbaikan, dan sebagainya

2.5. Bangunan Pengolahan Air Minum

2.5.1. Bangunan Penyadap (Intake)

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

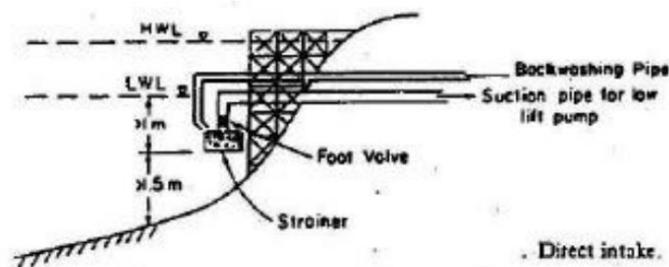
maksimum. Berikut merupakan persyaratan penempatan lokasi bangunan pengambilan (*intake*):

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 (seperti 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 memperhatikan 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;

Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007). Menurut Kawamura (2000), bangunan *intake* memiliki tipe yang bermacam-macam, antara lain:

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*)

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



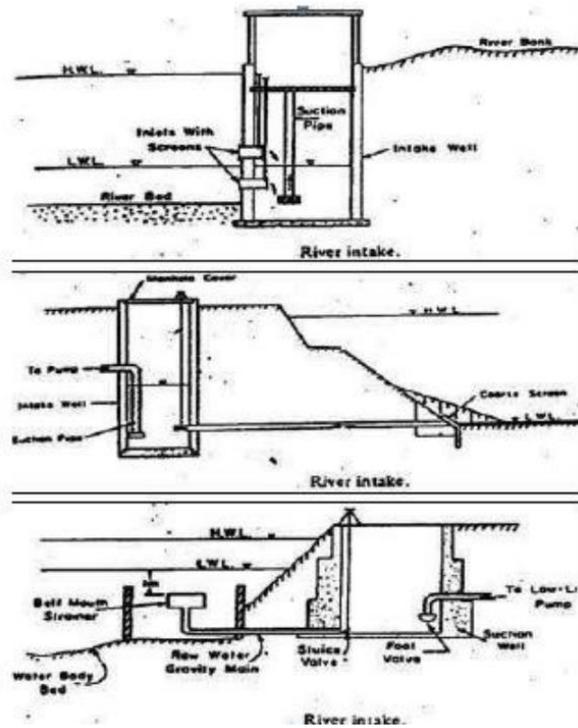
Gambar 2.1 *Direct Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

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

a. *River Intake*

Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Jenis ini dinilai lebih ekonomis untuk sumber air dari sungai yang memiliki perbedaan ketinggian muka air di musim yang berbeda.

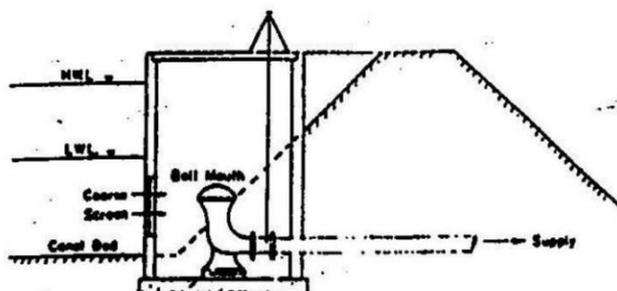


Gambar 2.2 *River Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

b. *Canal Intake*

Untuk air dari kanal. Dinding chamber terbuka sebagian ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.

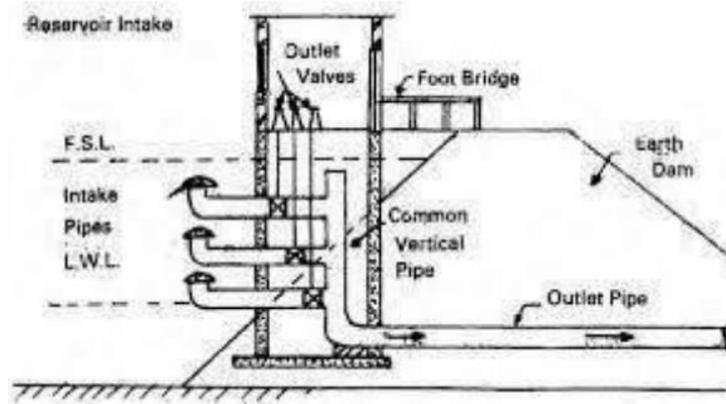


Gambar 2.3 *Canal Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

c. *Reservoir Intake*

Untuk air yang berasal dari DAM/bendungan/waduk, dengan menggunakan menara *intake* yang dibuat terpisah dengan DAM/bendungan/waduk dan diletakkan pada bagian hulu, inlet diletakkan pada beberapa titik menara untuk mengatasi perubahan ketinggian permukaan air.



Gambar 2.4 *Reservoir Intake*

(Sumber: Kawamura, 1991)

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

1. Mencari debit tiap *intake*

$$Q = \frac{Q \text{ kapasitas produksi}}{\Sigma \text{ pipa}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: Q = debit (m³/s)

Σ pipa = jumlah pipa *intake*

2. Mencari luas penampang pipa *intake*

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

Keterangan: A = luas penampang (m²)

Q = debit (m³/s)

v = kecepatan (m/s)

3. Mencari diameter pipa *intake*

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

Keterangan: D = diameter pipa (m)

A = luas penampang (m²)

4. Rumus umum kecepatan (v)

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

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

5. *Head Losses* mayor sepanjang pipa

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

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

Tabel 2.2 Koefisien Kekasaran Pipa *Haen-Williams*

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

(Sumber: (Jack B. Evett, 1987))

6. *Head Losses* minor (H_m)

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

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

Tabel 2.3 Nilai K untuk Kehilangan Energi

<i>Valve, Fittings, and Specials</i>	<i>K Value</i>
<i>Entrance, suction bell (32 in) 81 cm</i>	0,004
<i>90⁰ elbow (24 in) 61 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (24 in) 61 cm</i>	0,19

<i>Valve, Fittings, and Specials</i>	<i>K Value</i>
<i>Reducer (14 in) 35,5 cm</i>	0,25
<i>Check valve (20 in) 51 cm</i>	2,5
<i>90⁰ elbow (20 in) 51 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (20 in) 51 cm</i>	0,19
<i>Tee (20 in x 20 in) 50 cm x 50 cm</i>	1,8

(Sumber: (Qasim, 2017))

7. Mencari slope pipa

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

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

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

$$D = n \times d \times (n+1) \times r \dots\dots\dots (2.8)$$

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

9. Mencari *velocity head* (h_v)

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

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

10. *Headloss* melalui *screen* (H_{f_{screen}})

$$H_{f_{screen}} = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times h_v \times \sin \alpha \dots\dots\dots (2.10)$$

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

Tabel 2.4 Faktor Minor Losses Bar

Bentuk Bar	Nilai Minor Losses β
<i>Shape 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>	0,76

(Sumber: (Qasim, 2017))

2.5.2. Prasedimentasi

Prasedimentasi pada umumnya 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 sering digunakan adalah *rectangular* dan *circular* serta terdiri dari empat zona, yaitu zona inlet, zona pengendapan, zona outlet, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah *overflow rate*, $v_{horizontal}$ (v_h), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996).

Bak pengendap pertama (prasedimentasi) terdiri dari empat ruangan yaitu:

1. Zona Inlet

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

2. Zona Pengendapan

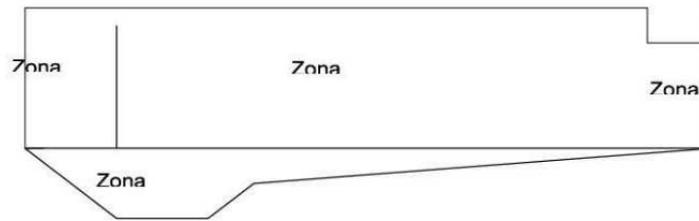
Tempat terjadinya proses pengendapan atau pemisahan partikel diskrit pada air.

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 effluen (Sumber: (Qasim, 2017))



Gambar 2.5 Tampak Samping Unit Prasedimentasi

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

Tabel 2.5 Desain Tipikal Prasedimentasi

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

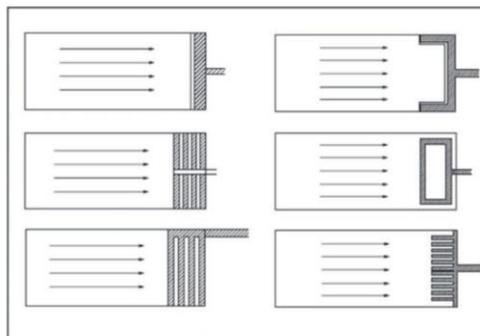
(Sumber: Metcalf & Edyy, 2003, halaman 398)

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

Tabel 2.6 Ragam *Weir Loading Rate* dari Berbagai Sumber

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

Berdasarkan kriteria desain dari berbagai sumber tentang *weir loading rate* di atas, dapat dilihat bahwa jika pada bak *density current*, *weir loading rate* diharapkan tidak terlalu besar karena menyebabkan terjadinya penggerusan pada partikel yang mengendap di sekitar outlet, sehingga diharapkan *weir loading rate* dapat sekecil mungkin. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan tinggi yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesai pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar, antara lain dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Ragam Susunan Pelimpah pada Outlet

(Sumber: Qasim et al, 2000)

2.5.3. Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penambahan udara/oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara (air ke dalam udara) atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air (udara ke dalam air). Perpindahan gas dari atmosfer ke air (penambahan oksigen terlarut) akan meningkatkan oksidasi besi, mangan, dan logam lain ke tingkat oksidasi yang lebih tinggi dan lebih tidak larut. Endapan ini akan menjadi dibuang di bak sedimentasi dan unit filtrasi (Droste, 1997).

Sumber lain menjelaskan bahwa aerasi adalah suatu proses atau usaha dalam menambahkan konsentrasi oksigen yang terkandung dalam air limbah, agar proses oksidasi biologi oleh mikroba akan dapat berjalan dengan baik. Dalam melakukan proses aerasi ini perlu menggunakan alat yang dinamakan aerator. Prinsip kerja alat ini adalah untuk menambahkan oksigen terlarut di dalam air tersebut. Kemudian yang menjadi tugas utama dari aerator ini adalah memperbesar permukaan kontak antara air dan udara. Tujuan aerasi adalah sebagai berikut:

1. Penambahan jumlah oksigen
2. Penurunan jumlah karbon dioksida (CO₂)
3. Menghilangkan *hydrogen sulfide* (H₂S), *methan* (CH₄) dan berbagai/senyawa organik lain yang bersifat *volatile* (menguap)

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

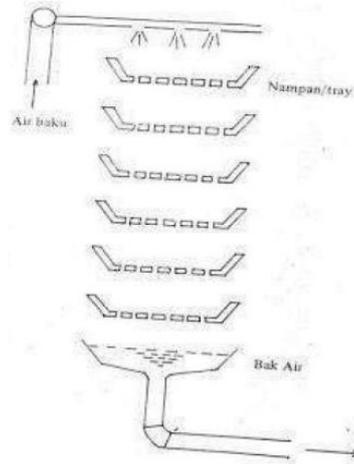


Pada jurnal Eko dkk (2018), pengujian COD pada air wudhu setelah diaerasi menunjukkan penurunan kadar COD. Penurunan kadar COD terjadi karena terjadinya penambahan asupan oksigen ke dalam sampel limbah sehingga terjadi proses oksidasi oleh mikroorganisme yang menyebabkan penurunan senyawa organik pada sampel limbah. Sementara itu, sama seperti halnya pada pengujian BOD terjadi penurunan yang cukup besar. Hal ini disebabkan terjadinya asupan oksigen ke air limbah mengakibatkan

meningkatnya laju penguraian yang diakibatkan oleh bertumbuhnya populasi organisme yang baik. Berikut merupakan jenis-jenis metode aerasi:

a. *Waterfall Aerator* (Aerasi Air Terjun)

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

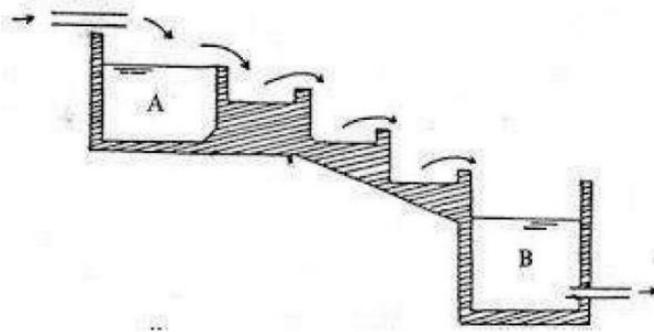


Gambar 2.7 *Multiple Tray Aerator*

Jenis aerator ini terdiri dari atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang-lubang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m² permukaan tray. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap tray berikutnya. Tray-tray ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan absetos cement berlubang-lubang pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempenga yang terbuat dari kayu secara paralel.

b. *Cascade Aerator*

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

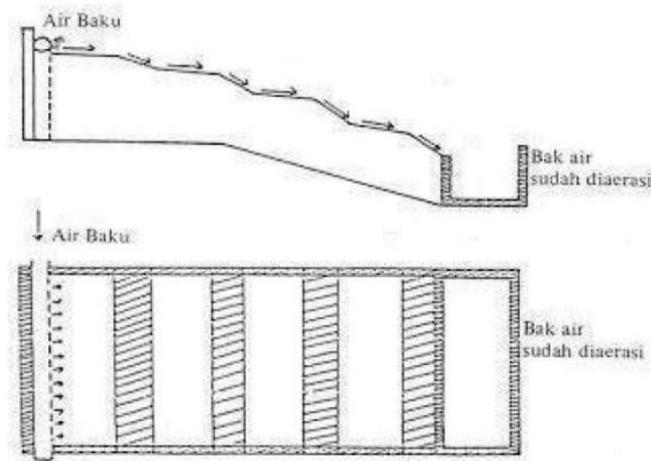


Gambar 2.8 *Cascade Aerator*

Keterangan: A = air baku
 B = air sudah diaerasi

c. *Submerged Cascade Aerator*

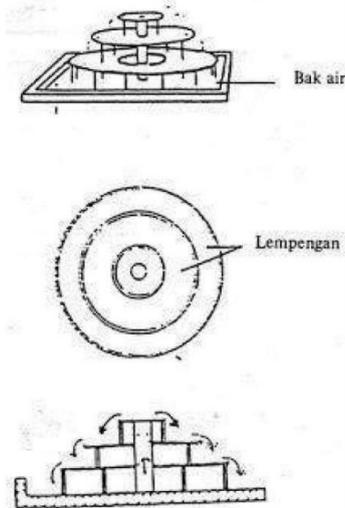
Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada sata air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara ke dalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi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



Gambar 2.9 Aerasi Tangga Aerator

d. *Multiple Platform Aerator*

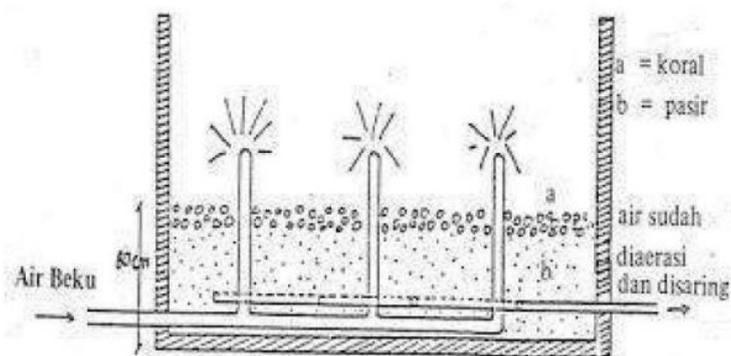
Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh terhadap air.



Gambar 2.10 *Multiple Platform Aerator*

e. *Spray Aerator*

Terdiri atas nozel 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 panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm. Piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nozel untuk *spray aerator* bentuknya bermacam-macam, ada juga nozel yang dapat berputar-putar.

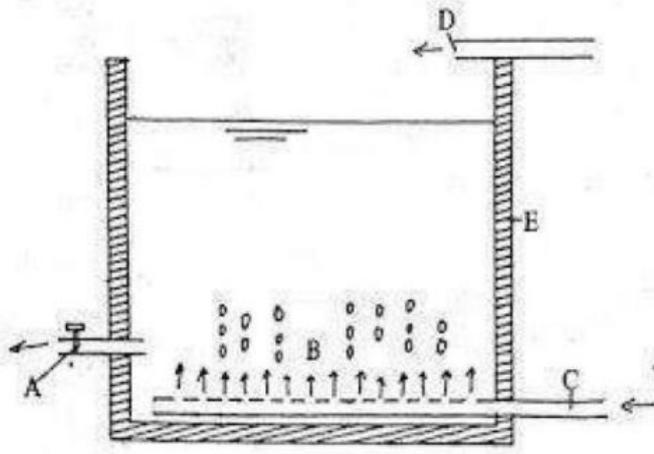


Gambar 2.11 *Spray Aerator*

f. *Bubble Aerator* (Aerasi Gelembung Udara)

Jumlah udara yang diperlukan untuk *bubble aerator* (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3-0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah

bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.



Gambar 2.12 *Bubble Aerator*

Keterangan:	A	= outlet
	B	= gelembung udara
	C	= pipa berlubang untuk udara
	E	= bak air

g. *Multiple-Tray Aerator*

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (*tray*) dan dilubangi pada bagian dasarnya. Air dialirkan dari puncak berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (*tray*) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (*collecting pons*). Pemerataan distribusi air diatas *tray* sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 2-6 inch (5-15 cm) sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalisa dari mangan oksida.

Multiple Tray Aerator harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan dimana terdapat pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang, karena terjadi kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan atau unsur tertentu yang ingin dihilangkan.

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

Tabel 2.7 Desain dan Karakteristik Operasional Aerasi

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
<i>Aerator Gravitasi Cascade</i>	20-45% CO ₂	Tinggi: 1-3 m Luas: 85-105 m ² /m ² .det Kecepatan aliran: 0,3 m/det
<i>Packing Tower</i>	> 95% VOC 90% CO ₂	Diameter kolom maksimum: 3 m Beban hidrolis: 2000 m ³ /m ² .hari
<i>Tray</i>	> 90% CO ₂	Kecepatan: 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ air Jarak rak (<i>tray</i>): 30-75 cm Luas: 50-160 m ² /m ³ .det
<i>Spray Aerator</i>	79-90% CO ₂ 25-40% H ₂ S	Tinggi: 1,2-9 m Diameter nozzle: 2,5-4 cm Jarak nozzle: 0,6-3,6 m Debit nozzle: 5-10 L/det
<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOC _s	Luas bak: 105-320 m ² /m ³ .det Tekanan semprotan: 70 kPa Waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m ³ /m ² air Kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
<i>Aerator mekanik</i>	70-90% CO ₂ 25-40% H ₂ S	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

2.5.4. Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi – flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Dalimunthe, 2007; Shamas & Wang, 2016).

Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi dengan tujuan 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 men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012).

Pada tabel 2.8 berikut data koagulan yang umum digunakan pada proses pengolahan air.

Tabel 2.8 Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
<i>Aluminium Sulfat</i>	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ X = 14, 16, 18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
<i>Sodium Aluminat</i>	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
<i>Poly Aluminium Chloride (PAC)</i>	$Aln(OH)mCl_{3n-m}$	Cairan, Bubuk	Asam	6,0 – 7,8
<i>Ferri Sulfat</i>	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 – 9
<i>Ferri Klorida</i>	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
<i>Ferro Sulfat</i>	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber: Sugiarto, 2006)

Tabel 2.9 Karakteristik Koagulan

Koagulasi	Pengendapan flok	pH ekstrim	Dosis optimum (kg/jam)		Kadar Al_2O_3 (%)	Kejernihan air olahan
			(kg/jam)	ppm		
Alum	Lebih lambat	Terjadi	14,4	40	> 8.0	Tidak sejernih PAC
PAC	Cepat	Tidak Terjadi	3,6	10	min 30	Jernih

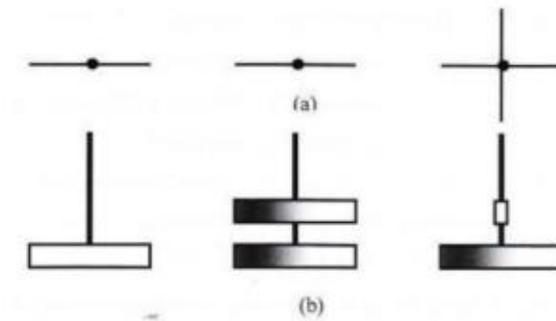
(Sumber: Kep Menkes RI no 907/Menkes/SK/VII/2002)

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 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. Berikut merupakan faktor yang dapat mempengaruhi koagulan yaitu:

1. Pengaruh pH. Koagulan memiliki *range* pH optimum. Luasnya *range* pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral).

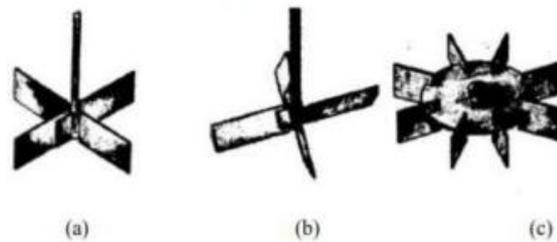
2. Pengaruh temperatur. Temperatur rendah akan terjadi reaksi yang lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.
3. Dosis koagulan
4. Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Apabila tidak sesuai, maka kemungkinan tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflok yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan juga akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.
5. Pengadukan (*mixing*). Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.
6. Pengaruh garam. Garam tersebut dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, proses pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balong-balong). Bentuk ketiga *impeller* dapat dilihat pada gambar 2.13, gambar 2.14, dan gambar 2.15. Kriteria *impeller* dapat dilihat pada tabel 2.8. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td. Tabel 2.9 dapat dijadikan acuan untuk menentukan G dan td. Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperlihatkan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T yang dapat dilihat pada tabel 2.10.



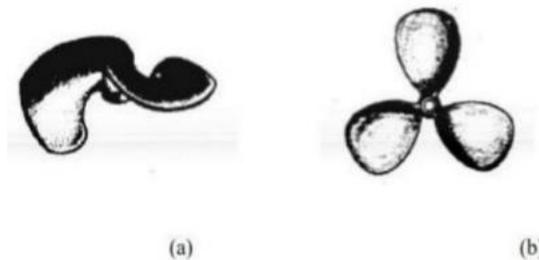
Gambar 2.13 Tipe *Paddle*: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

(Sumber: Masduqi & Assmomadi, 2012 Hal.112)



Gambar 2.14 Tipe *Impeller*: (a) Paddle; (b) Propeller; (c) Turbin

(Sumber: Qasim, 2000)



Gambar 2.15 Tipe Propeller: (a) 2 blade; (b) 3 blade

(Sumber: Qasim, 2000)

Tabel 2.10 Kriteria *Impeller*

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

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996 Hal.185)

Tabel 2.11 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

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

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996 Hal.184)

Tabel 2.12 Konstanta K_L dan K_T untuk Tangki Berserat

Jenis <i>Impeller</i>	K_L	K_T
<i>Propeller, putch of 1, 3 blades</i>	41	0,32
<i>Propeller, putch of 2, 3 blades</i>	43,5	1
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	60	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	65	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	70	4,8
<i>Fan turbine, 6 blades at 45°</i>	70	1,65
<i>Shrouded turbine, 6 curved blades</i>	97,5	1,08
<i>Shrouded turbin, with stator, No. baffles</i>	172,5	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_1/W_1 = 4$</i>	43	2,25
<i>Flat paddles, 2 blades, $D_1/W_1 = 6$</i>	36,5	1,7
<i>Flat paddles, 2 blades, $D_1/W_1 = 8$</i>	33	1,15
<i>Flat paddles, 4 blades, $D_1/W_1 = 6$</i>	49	2,75
<i>Flat paddles, 6 blades, $D_1/W_1 = 8$</i>	71	3,82

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996 Hal.188)

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

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

Pengadukan lambat (agitasi dan *stirring*) digunakan dalam proses flokulasi, untuk memberi kesempatan kepada partikel flok yang sudah terakogulasi 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 detik⁻¹) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah:

1. Air Sungai
 - Waktu detensi = minimal 20 menit
 - G = 10 – 50 detik⁻¹
2. Air waduk
 - Waktu detensi = minimal 30 detik
 - G = 10 – 75 detik⁻¹
3. Air keruh
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Jika menggunakan garam besi sebagai koagulan
 - G tidak lebih dari 50 detik⁻¹
5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 - G kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G kompartemen 2 : 40% dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3 : nilai terkecil
6. Penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = minimal 30 menit
 - G = 10 – 50 detik⁻¹
7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
 - Waktu detensi = 15 – 30 menit
 - G = 20 -75 detik⁻¹
 - GTd = 10.000 – 100.000

(Masduqi & Assomadi, 2012, Hal. 110)

Berikut merupakan rumus perhitungan unit koagulasi – flokulasi:

1. Kebutuhan koagulan

$$\text{Koagulan} = \text{Dosis} \times Q \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

Koagulan = Kebutuhan koagulan (kg/hari)

Dosis = Dosis koagulan (mg/L)

Q = Debit limbah (m^3/s)

2. Kadar kebutuhan koagulan

Kadar koagulan = C Koagulan x Koagulan (2.12)

Keterangan :

Kadar kebutuhan koagulan = kadar koagulan yang dibutuhkan (kg/hari)

C koagulan = kadar koagulan (%)

Koagulan = kebutuhan koagulan (kg/hari m^3/s)

3. Volume Koagulan

V Koagulan = $\frac{\text{kadar kebutuhan koagulan}}{\rho \text{ koagulan}}$ (2.13)

Keterangan :

V koagulan = Volume koagulan yang dibutuhkan (L/hari)

Kadar Kebutuhan koagulan = kadar koagulan yang dibutuhkan (kg/hari)

ρ koagulan = Densitas koagulan (kg/L)

2.5.5. Sedimentasi

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

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

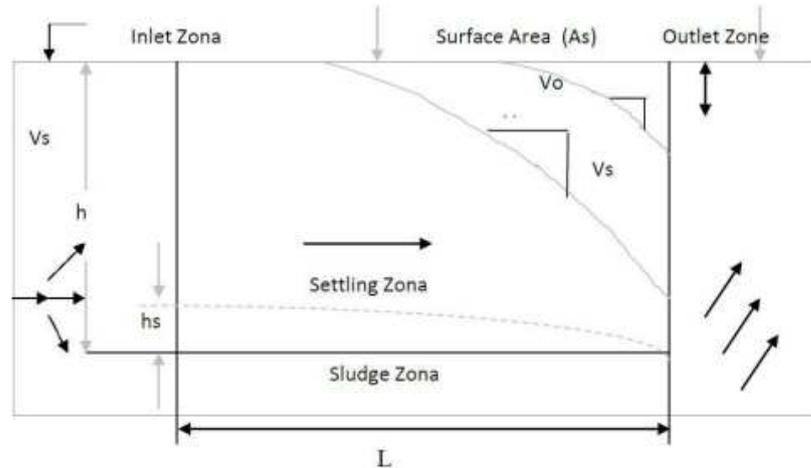
Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

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

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona:

1. Zona *Inlet*
2. Zona *Outlet*
3. Zona *Settling*
4. Zona *Sludge*

Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini:



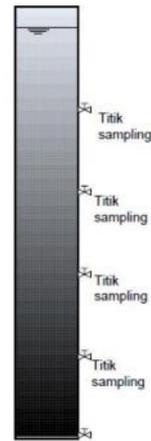
Gambar 2.16 Zona pada Bak Sedimentasi

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

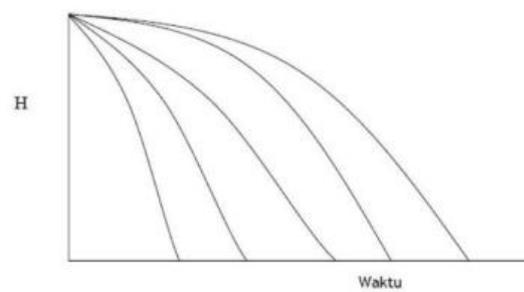
Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut:

1. Zona *Inlet* : terjadi distribusi aliran yang menuju zona *settling* ($\pm 25\%$ panjang bak)
2. Zona *Settling* : terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
3. Zona *Sludge* : sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurusan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak
4. 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.

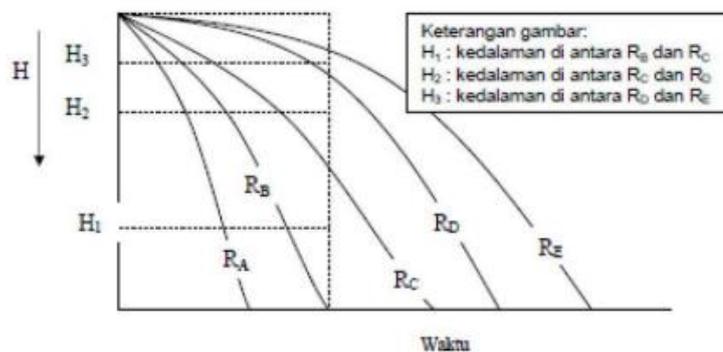


Gambar 2.17 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2.18 Grafik *Isoremoval*

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



Gambar 2.19 Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

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

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

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 mendesain bak pengendap (aliran kontinyu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor *scale up*. Untuk waktu detensi, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk *overflow rate*, faktor *scale up* yang digunakan pada umumnya adalah 0,65 (Reynold dan Richards, 1996). Terdapat dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan:

a. *Horizontal – Flow Sedimentation*

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

Cara kerja bak sedimentasi bentuk rectangular (persegi panjang) yaitu, air yang mengandung flok masuk ke zona inlet kemudian masuk ke zona *settling* melalui *baffle*/sekat agar alirannya menjadi laminer. Di zona *settling* partikel mengendap, endapannya masuk ke zona lumpur, sedangkan supernatant (airnya) keluar melalui zona *outlet*.

Beberapa keuntungan *horizontal-flow* dibandingkan dengan *up flow* adalah:

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

- Biaya konstruksi murah
- Operasional dan perawatannya mudah

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

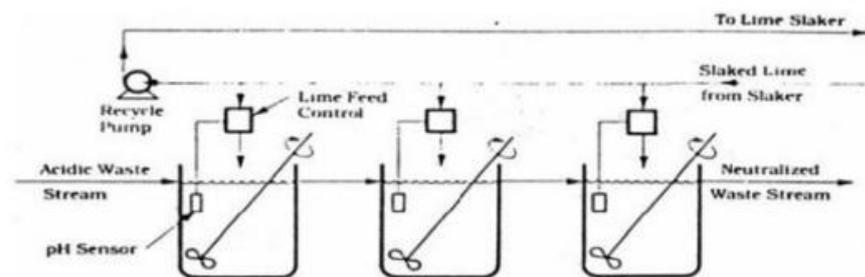
b. *Upflow Sedimentation*

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil.

2.5.6. Netralisasi

Air baku dapat bersifat asam atau basa, maka sebelum dilanjutkan ke badan air atau unit pengolahan selanjutnya harus dalam keadaan optimal atau netral. Larutan dikatakan asam apabila memiliki nilai pH kurang dari 7, dikatakan netral apabila pH bernilai 7, dan dikatakan basa apabila memiliki nilai pH lebih dari 7. Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan derajat keasaman pada air dengan penambahan bahan kimia dan dosis yang sesuai (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Adapun prinsip pencampuran di dalam bak netralisasi seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.20 Bak Netralisasi

(Sumber: Metcalf & Eddy et al., 2007)

Adapun agen netralisasi yang bisa digunakan untuk proses netralisasi secara umum beserta klasifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Senyawa Basa
 - a. Lime dalam bentuk apapun (Senyawa Basa Kuat)
 - b. Natrium Hidroksida (NaOH) (Senyawa Basa Kuat)

- c. Magnesium Hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) (Senyawa Basa Sedang)
 - d. Natrium Karbonat (Na_2CO_3) (Senyawa Basa Lemah)
 - e. Natrium Bikarbonat (NaHCO_3) (Senyawa Basa Lemah)
2. Senyawa Asam
- a. Asam Sulfat (H_2SO_4) (Senyawa Asam Kuat)
 - b. Karbon Dioksida (CO_2) (Senyawa Asam Lemah)

Dalam proses netralisasi, terdapat dua sistem yang akan digunakan dalam menjalankan prosesnya. Sistem-sistem tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Sistem batch biasa digunakan pada air yang memiliki debit lebih kecil dari $380 \text{ m}^3/\text{hari}$
- b. Sistem continue membutuhkan pengaturan tingkat keasaman. Apabila udara diperlukan untuk proses pengadukan, maka aliran udara minimum yang dibutuhkan berkisar antara $1 - 3 \text{ ft}^3/\text{mm.ft}^2$ atau $0,3 - 0,9 \text{ m}^3/\text{mm.m}^2$ dengan kedalaman 9 ft ($2,7 \text{ m}$). Apabila sistem pengadukan dilakukan secara mekanis, maka daya yang dibutuhkan berkisar antara $0,2 - 0,4 \text{ hp}/\text{ribu.gal}$ ($0,04 - 0,08 \text{ kW}/\text{m}^3$) (W. Eckenfelder, 2000).

2.5.7. Filtrasi

Menurut Al-Layla (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 merupakan proses dimana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

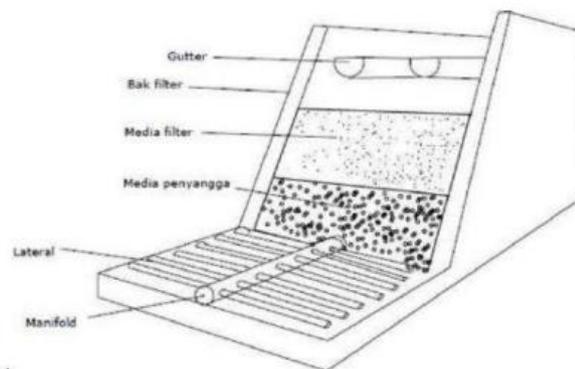
Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang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

Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah sebagai berikut:

- a. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
- b. Proses sedimentasi di dalam filter

- c. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang sudah terkumpul di atas lapisan filter
- d. Proses adsorpsi atau proses elektrokinetik
- e. Proses koagulasi di dalam filter
- f. Proses biologis di dalam filter
- g. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukurannya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. 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 2.21 dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2.21 Bagian-Bagian Filter

(Sumber: Reynolds/Richards, 1996)

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain *rapid sand filter*, *slow sand filter*, *pressure sand filter*, *multiple media filters*, *diatomaceous earth filters*, *upflow filters* dan lain-lain. Sedangkan jenis filter berdasar sistem operasi dan media antara lain: single media, dual media, dan multi media. Filter single media adalah filter cepat tradisional yang menggunakan media pasir kwarsa. Penyaringan suspensi solid terjadi pada lapisan paling atas sehingga dianggap kurang efektif karena sering dilakukan pencucian. Filter dual media menggunakan media pasir kwarsa di lapisan bawah dan antrasit di lapisan atas. Hal ini memberikan keuntungan yakni kecepatan filtrasi lebih tinggi (10-15 m/jam), periode pencucian lebih lama, dan hemat biaya. Multi media filter biasanya terdiri dari media antrasit, pasir, dan garnet atau dolomit. Media ini sering digunakan karena memiliki perbedaan densitas yang berbeda dengan antrasit sebagai media filtrasi yang paling ringan per satuan volume, kemudian

diikuti oleh pasir dan granet. Fungsi multi media filter yakni untuk memaksimalkan seluruh lapisan filter agar berperan sebagai penyaring (Reynolds, 1992).

Menurut Al-Laya (1978), pada proses purifikasi air, *rapid sand filters* memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju filtrasinya berkisar antara 4-5 m³/m².hr (namun terkadang laju filtrasinya dapat lebih dari 6 m³/m².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 80 cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*. Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari head loss filter saat itu.

Keuntungan menggunakan *rapid sand filters* adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif cepat jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Sedangkan kekurangan dari *rapid sand filters* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air. Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrazit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk, dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan *effective size* (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10).

Uniform 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	= 1,2 – 1,7 mm
ES	= 0,45 – 0,7 mm
- Dual media :

UC	= 1,4 – 1,9 mm
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 influent filter pasir cepat berkisar antara 5 – 10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90% - 98% (Masduqi & Assomadi, 2012:171). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2.13 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 - 11	6 - 11
2	Pencucian: <ul style="list-style-type: none"> • Sistem pencucian • Kecepatan (m/jam) • Lama pencucian (menit) • Periode antara dua pencucian (jam) • Ekspansi (%) 	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50
3	Dasar filter <ul style="list-style-type: none"> a. Lapisan penyangga dari atas ke bawah <ul style="list-style-type: none"> • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) b. Filter nozel <ul style="list-style-type: none"> • Lebar slot nozel (mm) • Presentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15 80 – 150 15 – 30 < 0,5 > 4%	80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15 80 – 150 15 – 30 < 0,5 < 4%

(Sumber: SNI 6774 – 2008)

2. Filter Pasir Lambat

Filter pasir lambar atau *slow sand filter* adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter pasir lambat bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan hypogeal atau *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protoza, rotifera, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati *schmutzdecke*, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protoza (Masduqi & Assomadi, 2012:176). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada tabel 2.12

Tabel 2.14 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90 – 110 cm pasir, berkurang 50 – 80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25 – 0,3 mm, uniformity coefficient 2 – 3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20 – 60 hari
Metode pembersihan	Mengambil lapisan pasir dipermukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2 – 0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kecurahan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah

(Sumber: Schulz & Okun, 1984)

3. Filter Bertekanan

Filter bertekanan (*pressure filter*) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter grafitasi (filter cepat dan filter lambar), 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 2.13.

Tabel 2.15 Kriteria Filter Bertekanan

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12 – 33
2	Pencucian <ul style="list-style-type: none"> • Sistem pencuciaan • Kecepatan (m/jam) • Lama pencucian (menit) • Periode antara dua pencucian (jam) • Ekspansi (%) 	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 72 – 198 - - 30 – 50
3	Media pasir <ul style="list-style-type: none"> • Tebal (mm) • Single media • Ganda media • Ukuran efektif, ES (mm) • Koefisien keseragaman, UC • Berat Jenis (kg/L) • Porositas • Kadar SiO₂ 	300 – 700 600 – 700 300 – 600 - 1,2 – 1,4 2,5 – 2,65 0,4 > 95%
4	Media antrasit: <ul style="list-style-type: none"> • Tebal (mm) • Ukuran efektif, ES (mm) • Koefisien keseragaman, UC • Berat jenis (kg/L) • Porositas 	400 – 500 1,2 – 1,8 1,5 1,35 0,5
5	Dasr filer nozel: <ul style="list-style-type: none"> • Lebar slot nozal (mm) • Presentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	< 0,5 > 4%

(Sumber: SNI 6774 – 2008)

4. Hidrolika Pencucian (*Backwash*)

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

- Penurunan kapasitas produksi

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

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

2.5.8. Desinfeksi

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

Desinfeksi secara kimia menggunakan larutan kaporit, gas klor dan gas ozon. Sedangkan disinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganismen bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan disinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan kalium permanganat. Kemampuan disinfeksi dalam pengolahan air minum adalah untuk sebagai berikut:

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

Berikut adalah macam-macam faktor yang mmempengaruhi efisiensi disinfeksi adalah:

1. Waktu kontak
2. Konsentrasi disinfeksi
3. Jumlah mikroorganismen
4. Temperatur air

5. pH
6. Keberadaan senyawa lain dalam air

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

1. Disinfeksi 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 elektron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O₂ berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi akan menghasilkan lompatan elektron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Jika elektroda mencapai kecepatan cukup, maka akan menyebabkan molekul oksigen splitting ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom ini akan bergabung membentuk O₃ (ozon).

2. Disinfeksi 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 garmical adalah UC-AC, dengan gelombang 220 – 280 nm.

3. Desinfeksi dengan Pembubuhan Kimia

Metode ini menggunakan bahan kimia yang dicampurkan dalam air kemudian diberikan waktu yang cukup agar memberi kesempatan kepada zat untuk berkontak dengan bakteri. Desinfeksi air minum yang sering dilakukan yaitu dapat 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/m³ air, tergantung pada turbiditas air.

Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8 – 8,3 oksidasi besi membutuhkan waktu 15 – 30 menit. Pada umumnya proses

standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisas klor yang dianjurkan 0,2 – 0,5 mg/l (Fatimah, et al., 2007).

Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl_2) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak selama 30 menit (Sawyer, et al., 1978).

Rumus Perhitungan :

A. Kebutuhan Klor

1. Kebutuhan Klor

$$\text{Keb. Klor} = \text{Dosis klor} \times \text{debit air baku (Q)}$$

2. Kebutuhan Kaporit

$$\text{Keb. Kaporit} = \frac{100\%}{60\%} \times \text{kebutuhan klor}$$

3. Debit Kaporit

$$Q_{\text{kaporit}} = \frac{\text{Kebutuhan kaporit}}{\text{densitas}}$$

4. Debit Air

$$Q_{\text{air}} = \frac{100\% - 5\%}{5\%} \times Q_{\text{kaporit}}$$

5. Debit Larutan

$$Q_{\text{larutan}} = Q_{\text{kaporit}} + Q_{\text{air}}$$

6. Volume Bak

$$V_{\text{bak}} = Q_{\text{larutan}} \times \text{periode pelarutan}$$

7. Dimensi

$$H_{\text{total}} = H_{\text{air}} + (\text{fb} \times H_{\text{air}})$$

$$\text{Volume} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h$$

Keterangan :

Fb = Freeboard

D = Diameter bak

h = Tinggi bak

B. Pengadukan

1. Power

$$P = G^2 \times \mu \times \text{volume bak}$$

Keterangan :

G = Gradien Kecepatan

μ = Viskositas Absolut

2. Diameter Paddle

$$D_i = \left[\frac{p \times g}{K_T \times n^2 \times p} \right]^{1/5}$$

3. Cek Nre

$$Nre = \frac{D_i^2 \times n \times p}{\mu}$$

Keterangan :

D_i = Diameter Impeller

n = Kecepatan Putaran Impeller

p = Massa Jenis Klor

μ = Viskositas Absolut

4. Tinggi Impeller dari Dasar

$$\text{Tinggi Impeller} = 1 \times D_i$$

Keterangan :

D_i = Diameter Impeller

5. Debit Penetasan

$$Q_{\text{penetasan}} = \frac{\text{volume}}{\text{waktu}}$$

6. Diameter Pipa Injeksi

$$D_{\text{pipa injeksi}} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

Keterangan :

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

7. Cek Kecepatan

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

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

Keterangan :

Q = debit air

D = diameter pipa

8. Dosing Pump

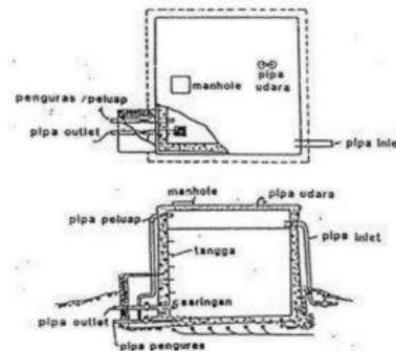
$$\text{Dosing Pump} = \frac{\text{diameter kaporit} \times \rho}{60}$$

2.5.9. Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya, reservoir ini diperlukan pada suatu sistem penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir memiliki fungsi, yaitu untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengan debit pemakaian air. Pada saat jumlah air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir dan digunakan kembali untuk jumlah pemakaian air.

Berdasarkan tinggi relatif reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)



Gambar 2.22 Reservoir Permukaan

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

2. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)



Gambar 2.23 Reservoir Menara

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

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

1. Reservoir Tangki Baja



Gambar 2.24 Reservoir Tangki Baja

Banyak reservoir menara dan “standpipe” atau reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang di baut atau di las. Baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas sehingga perlu di cat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.

2. Reservoir Beton Cor

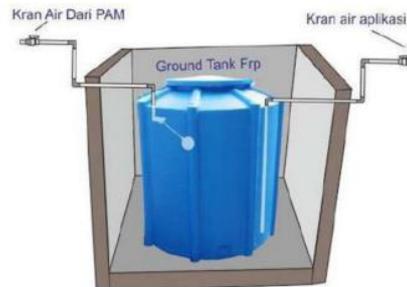


Gambar 2.25 Reservoir Beton Cor

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. Kelemhan umum dari bahan beton adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.

3. Reservoir *Fiberglass*



Gambar 2.26 Reservoir Fiberglass

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

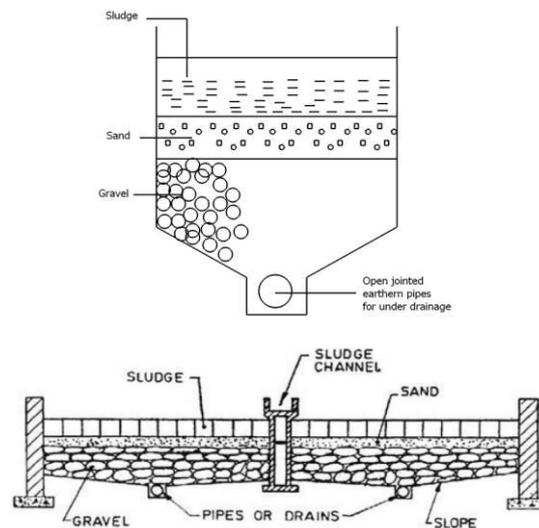
2.5.10. Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpul/sludge diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200 – 300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam sludge drying bed terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari sludge drying bed diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. Sludge drying bed pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateran (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan 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

200 – 300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya ;umpu 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 - 7,5. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang berkisar antara 6 – 30 m dan kedalamannya berkisar antara 380 – 460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.27 Sludge Drying Bed

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

Padatan pada sludge drying bed hanya dapat dikuras dari bangunannya setelah lumpur mengering. Lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10 – 15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila sludge telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan tru keluar dari lokasi pengolahan (Metcalf & Eddy, 2003)

2.6. Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, didapatkan rangkuman %penyisihan untuk unit pengolahan serta keseluruhan parameter dalam air sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air minum yang telah direncanakan. Berikut rangkuman %penyisihan air beserta sumber yang tertera:

Berdasarkan fungsinya unit-unit operasi dan proses terbagi menjadi 3 klasifikasi yaitu pengolahan fisik, kimia dan biologi (Reynolds, 1982). Adapun unit proses dan operasi yang digunakan dalam proses pengolahan air minum sebagai berikut :

Tabel 2.16 Unit Pengolahan berdasarkan Parameter

No.	Parameter	Unit Pengolahan	Sumber
1.	Kekeruhan	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i>, page 130 - Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. Hal 224 - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i>, page 316
2.	TSS	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Syed R. Qasim. 1985. <i>WWTP Planning Design and Operation</i>. Page 52 - Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> 4th. Hal 497. - Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. Hal 224
3.	TDS	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i>, page 233 - Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. Hal 224
4.	BOD	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Syed R. Qasim. 1985. <i>WWTP Planning Design and Operation</i>. Page 263 - Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> 4th. Hal 497 - Syed R. Qasim. 1985. <i>WWTP Planning Design and Operation</i>
5.	Fe	<ul style="list-style-type: none"> - Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. Hal 224

No.	Parameter	Unit Pengolahan	Sumber
			- Reynolds/Richards 2 nd , <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> , page 316
6.	Mn	- Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>)	- Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . Hal 224 - Ali Masduqi. Operasi dan Proses Pengolahan Air. Hal 171
7.	Amonia	- Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>)	- Ririn Arifah. 2016. Amonia Stripping - Metcalf & Eddy. 1954. Fair and Geyer. Hal 196
8.	Fecal Coliform	Desinfeksi	Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . Hal 224
9.	Total Coliform	Desinfeksi	Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . Hal 224
10.	pH	Netralisasi	Reynolds/Richards 2 nd , <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> , page 130

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

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada pintu
- b. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang, dan sebagainya harus dihitung secara khusus
- c. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- d. Kehilangan tekanan pada perpipaan
Rumus yang digunakan : $L \times S$
- e. Kehilangan tekanan pada aksesoris
Cara yang mudah adalah dengan meng-ekivalenkan aksesoris tersebut dengan panjang pipa, disini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S
- f. Kehilangan tekanan pada pompa
Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya
- g. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram

2. 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. Tambahkan 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

Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.