

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air Baku

Air baku merupakan salah satu bahan dasar dalam proses pengolahan air minum yang diambil dari sumber-sumber yang memenuhi standar baku mutu. Sumber air baku harus tersedia dalam jumlah besar agar dapat memenuhi kebutuhan air minum daerah perencanaan. Penentuan sumber air baku untuk pengolahan harus mempertimbangkan data yang didapat melalui penelitian secara periodik antara 5 - 10 tahun (Kawamura, 1991). Air baku yang akan digunakan untuk proses pengolahan harus diperhatikan pula klasifikasi kelas badan air yang akan digunakan. Karena klasifikasi kelas yang berbeda juga mempengaruhi proses pengolahannya.

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:

a. Air Tanah

Karakteristik geologi seperti morfologi dan jenis batuan berikut luas pelamparan serta ketebalan lapisan, berakibat pada terbentuknya struktur lapisan 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).

b. 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, suhu, dll (Astono, 2011).

2.1.2 Pemilihan Sumber Air Baku

Menurut Droste (1997), dalam memilih sumber air baku harus perhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Kualitas air baku.
2. Volume (kuantitas) air baku.
3. Kondisi iklim di daerah sumber air baku.
4. Lokasi sumber air baku harus tetap, tidak mengalami kemungkinan pindah atau tertutup.
5. Kontruksi intake yang memenuhi syarat dan kesulitan yang kecil.
6. Kemungkinan perluasan intake di masa yang akan datang.
7. Elevasi muka air sumber mencukupi.
8. Kemungkinan timbulnya pencemar di masa yang akan datang.
9. Fasilitas dan biaya operasi dan perawatan yang tersedia mencukupi.

Pendekatan yang paling efektif untuk menentukan apakah suatu sumber air memenuhi persyaratan sebagai sumber air baku air minum adalah memilih sumber dengan kualitas yang baik. Kualitas dari sumber air baku haruslah diperhatikan karena berpotensi mengandung berbagai macam polutan.

2.1.3 Persyaratan dalam Penyediaan Air Baku

1. Persyaratan Kualitas

Persyaratan kualitas menggambarkan mutu dari air baku. Persyaratan tersebut adalah sebagai berikut (Agustina, 2007) :

a. Persyaratan Fisik

Secara fisik, air bersih harus jernih, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan memiliki suhu sama dengan suhu udara atau kurang lebih $\pm 25^{\circ}\text{C}$.

b. Persyaratan kimia

Air bersih tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa persyaratan antara lain

adalah pH, total solid, zat organik, CO₂ agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chlorida (Cl), nitrit, flourida (F), dan logam berat.

c. Persyaratan biologis

Air bersih tidak boleh mengandung kuman patogen dan parasitik yang mengganggu kesehatan. Persyaratan biologis ditandai dengan tidak adanya bakteri *E. coli* dalam air.

d. Persyaratan radioaktif

Air bersih tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan radioaktif, misalnya sinar alfa, beta, dan gamma.

2. Persyaratan Kuantitas (Debit)

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Artinya air baku tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan air bersih. Kebutuhan air bersih masyarakat bervariasi, tergantung pada letak geografis, kebudayaan, tingkat ekonomi, dan skala perkotaan tempat tinggalnya (Agustina, 2007).

3. Persyaratan Kontinuitas

Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam perhari atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air tersedia. Akan tetapi, kondisi ideal tersebut hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktifitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam

perhari, yaitu pada jam-jam aktivitas kehidupan sekitar pukul 06.00–18.00.

Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya dalam jumlah yang tidak ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan reservoir pelayanan dan fasilitas energi yang siap setiap saat. Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Kecepatan dalam pipa tidak boleh melebihi 0,6–1,2 m/s. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi (Agustina, 2007).

2.2 Parameter Kualitas Air

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan air sehingga memenuhi syarat atau baku mutu air. Secara umum standar air minum dengan melihat batas minum kontaminan yang diperbolehkan yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010. Kebijakan standart layak air minum melihat kondisi suatu negara yang bersangkutan. Secara umum, parameter standar air di bedakan menjadi dua yaitu standar kualitas air baku dan standar kualitas air minum yang dijelaskan sebagai berikut:

2.2.1 Standar Kualitas Air Baku

Air minum adalah air yang melalau proses pengolahan atau tanpa roses pengolahan yang memebuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum, menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 / Menkes / Per / IV / 2010. Air minum yang layak untuk dikonsumsi harus memenuhi standar kualitas air minum. Hal tersebut berkaitan dengan proses pengolahannya dan juga kualitas air baku yang dimiliki. Jika air baku yang akan diolah memniliki kriteria yang kurang

bagus, maka pengolahan air minum yang akan dilakukan akan mengalami kesulitan. Berikut ini merupakan penggolongan mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 :

1. Kelas Satu : Air yang digunakan untuk air minum dan mutu airnya sama dengan mutu air minum.
2. Kelas Dua: Air yang digunakan untuk prasarana / sarana rekreasi, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, untuk mengairi tanaman dan mutu airnya sama dengan kegunaannya tersebut.
3. Kelas Tiga : Air yang digunakan untuk prasarana / sarana rekreasi, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, untuk mengairi tanaman dan mutu airnya sama dengan kegunaannya tersebut.
4. Kelas Empat : Air yang digunakan untuk mengairi, pertamanan dan mutu airnya sama dengan kegunaannya tersebut.

Standar kualitas air yang diterapkan di Pengolahan air minum mengacu pada PP RI No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air kelas I dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Parameter Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
FISIKA					
Suhu	°C	Deviasi 3			
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400
KIMIA ANORGANIK					
pH		6 – 9	6 – 9	6 – 9	5 – 9
BOD	mg/L	2	3	6	12
COD	mg/L	10	25	50	100
DO	mg/L	6	4	3	0
Total Fosfat (P)	mg/L	0,2	0,2	1	5
NO ₃ sebagai N	mg/L	10	10	20	20
NH ₃ -N	mg/L	1	(-)	(-)	(-)
Arsen	mg/L	1	1	1	1
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)
Boron	mg/L	1	1	1	1
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01

Khrom (IV)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1
Mangan	mg/L	1	(-)	(-)	(-)
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2
Khlorida	mg/L	1	(-)	(-)	(-)
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)
Khlorin Bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)
Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)
MIKROBIOLOGI					
<i>Fecal coliform</i>	jml/1000 ml	100	1000	2000	2000
Total coliform	jml/1000 ml	1000	5000	10000	1000

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001

2.2.2 Standar Kualitas Air Minum

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 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Lampiran Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0

	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	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
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃)	Mg/l	50
	7) Sianida	Mg/l	0,07
	8) Selenium	Mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak Berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	Mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak Berasa
	6) Suhu	C	Suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	Mg/l	0,2
	2) Besi	Mg/l	0,3
	3) Kepadatan	Mg/l	500
	4) Klorida	Mg/l	250
	5) Mangan	Mg/l	0,4
	6) pH	Mg/l	6,5 – 8,5
	7) Seng	Mg/l	3
	8) Sulfat	Mg/l	250
	9) Tembaga	Mg/l	2
	10) Amonia	Mg/l	1,5

Sumber : Permenkes RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010

2.3 Aspek Teknis Bangunan Pengolahan Air Minum

2.3.1 Pemilihan Lokasi Bangunan Pengolahan

Evaluasi lokasi bangunan pengolahan didasarkan pada jaraknya dari intake, layout bangunan yang diperoleh, akibat 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 yang perlu diperhatikan adalah:

- Diusahakan cukup dekat dengan sumber air dan konsumen sehingga dapat menghemat biaya distribusi, perpipaan transmisi, dsb.
- Lokasi geografis.
- Kondisi Geologis (Kondisi Tanah). Perlu diperhatikan bagaimana membangun pondasi yang kokoh dan sesuai dengan karakteristik tanah yang ada.
- Ketersediaan dari sumber tenaga dan fasilitas penunjang lainnya.
- Biaya konstruksi.
- Keamanan operasi dan instalasi sebagai bangunan vital terhadap kemungkinan gangguan dari luar.
- Kemungkinan perluasan di masa yang akan datang. Tanah yang tersedia harus cukup luas sehingga masih mungkin untuk dilakukan pengembangan atau perluasan di kemudian hari.
- Transport menuju instalasi, demi lancarnya pengangkutan bahan-bahan kimia dan tenaga operator.
- Jika distribusi air secara gravitasi dan tanpa menggunakan menara air, maka ketinggian lokasi instalasi harus cukup.

2.3.2 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:

- a. Disesuaikan dengan urutan proses pengolahan atau sesuai dengan diagram alir.
- b. Disesuaikan dengan tipe desain, misalnya dengan memperhatikan besar nilai debit dan keuntungan dan kerugian dalam tata letak bangunan.
- c. Harus memudahkan dalam pengoperasian, 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 lalu lalang petugas atau cukup lapang apabila diperlukan perbaikan, dan sebagainya.

2.4 Unit Instalasi Pengolahan Air Minum

2.4.1 Intake

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, situ, atau sumber air lainnya. Kapasitas bangunan *intake* yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan air harian maksimum. Persyaratan lokasi penempatan bangunan pengambilan (*intake*):

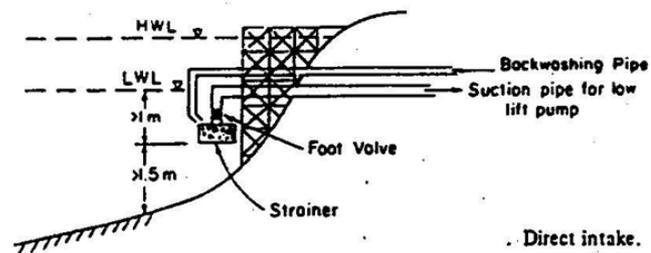
1. Penempatan bangunan penyadap (*intake*) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);

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 disusahakan 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 disusahakan 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, antarlain:

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.



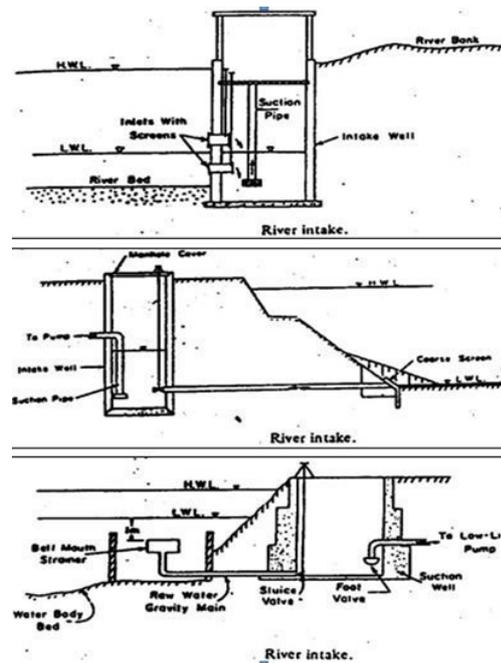
Gambar 2. 1 Direct Intake

Sumber: Kawamura, 2000

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

- a. *River Intake*

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

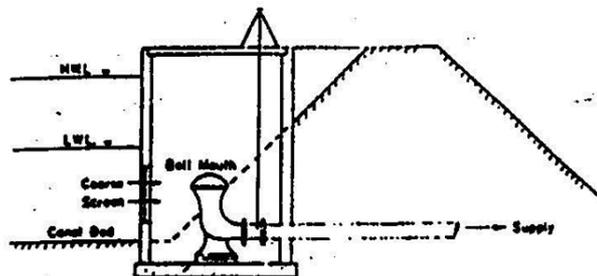


Gambar 2. 2 River Intake

Sumber: Kawamura, 2000

b. *Canal Intake*

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



Gambar 2. 3 Canal Intake

Sumber: Kawamura, 2000

c. *Reservoir Intake*

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

3. Spring Intake

Digunakan untuk air baku dari mata air/air tanah.

4. Intake Tower

Digunakan untuk air permukaan dimana kedalaman air berada diatas level tertentu.

5. Gate Intake

Berfungsi sebagai screen dan merupakan pintu air pada prasedimentasi.

Rumus-rumus yang dipergunakan dalam perhitungan intake dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut :

a. Debit tiap Intake

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

Keterangan :

Q = Debit (m³/s)

Σ pipa = Jumlah Pipa Intake

b. Luas Penampang Pipa Inlet

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

Keterangan :

A = Luas Penampang (m²)

Q = Debit (m³/s)

v = Kecepatan (m/s)

c. Diameter Pipa Intlet

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

Keterangan :

D = Diameter (m)

A = Luas Penampang (m²)

d. Rumus umum kecepatan (v)

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

Keterangan :

Q = Debit (m³/s)

A = Luas Penampang (m²)

e. Head Losses Mayor sepanjang Pipa

$$H_f = \left[\frac{10,67 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \right] \times L \quad (2.5)$$

Keterangan :

H_f = Headlosses Mayor (m)

Q = Debit (m³/s)

L = Panjang Pipa (m)

C = Koefisien Kekasaran Pipa

D = Diameter Pipa (m)

Tabel 2. 3 Koefisien Kekasaran Pipa Haen-Williams

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

Sumber : Evett & Liu (1987)

f. Head Losses Minor (H_m)

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

Keterangan:

H_m = Minor losses (m)

k = Koefisien kehilangan energi

v = Kecepatan (m/s)

g = Pecepatan gravitasi (m²/s)

Tabel 2. 4 Nilai k untuk Kehilangan Energi

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

Sumber : Qasim (2000) *Water Works Engineering Planning, Design, and Operation* hal 203, 2000)

g. Mencari Slope Pipa

$$S \text{ HWL} = \frac{H_f}{L} \quad (2.7)$$

Keterangan:

S = Slope Pipa (m/m)

L = Panjang Pipa (m)

H_f = Head Losses (m)

h. Jumlah Kisi pada *Bar Screen* (n)

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

Keterangan :

D = Lebar Screen (m)

n = Jumlah Kisi

d = Lebar Batang Kisi (m)

r = Jarak Antar Kisi (m)

i. Mencari Velocity Head (h_v)

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

Keterangan:

h_v = Velocity head (m)

v = Kecepatan (m/s)

g = Pecepatan gravitasi (m^2/s)

j. Headloss melalui screen ($H_{f_{screen}}$)

$$H_{f_{screen}} = \beta \times \left(\frac{W}{b}\right)^{4/3} \times H_v \times \sin \alpha \quad (2.10)$$

Keterangan :

β = Koefisien minor losses (m)

W = lebar bar (cm)

b = jarak antar bar (cm)

Tabel 2. 5 Faktor Minor Losses Bar

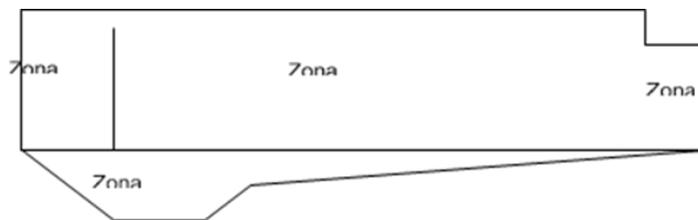
Bentuk Bar	Nilai <i>minor losses</i> (β)
Shape edge rectangular	2,42
Rectangular with semicircular up stream face circular	1,83
Circular	1,79
Rectangular with semicircular up stream and down stream face	1,67
Tear shape	0,76

Sumber : Qasim (2000) *Water Works Engineering Planning, Design, and Operation*)

2.4.2 Prasedimentasi

Prasedimentasi biasa digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti kerikil dan pasir. 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. 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 terdiri dari 4 ruangan fungsional yaitu:

1. Zona Inlet: tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminar).
2. Zona Pengendapan: tempat berlangsungnya proses pengendapan/pemisahan partikel - partikel diskrit di dalam air buangan.
3. Zona Lumpur: tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.
4. Zona Outlet: tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran effluen serta mengatur debit effluen (Qasim et al., 2000).



Gambar 2. 4 Tampak Samping Unit Prasedimentasi

Menurut Metcalf & Eddy (2003) terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan untuk mendesain unit prasedimentasi, antarlain: detention time, overflow rate, average flow, peak hourly flow, dan weir loading. Kriteria desain unit prasedimentasi dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Desain Tipikal Prasedimentasi

Item	U.S. customary units			SI units		
	Unit	Range	Typical	Unit	Range	Typical
Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft ² .d	800-1200	1000	m ³ /m ² .d	30-50	40
Peak hourly flow	gal/ft ² .d	2000-3000	2500	m ³ /m ² .d	80-120	100
Weir loading	gal/ft.d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250
Primary settling with waste activated-sludge return						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft ² .d	600-800	700	m ³ /m ² .d	24-32	28
Peak hourly flow	gal/ft ² .d	1200-1700	1500	m ³ /m ² .d	48-70	60
Weir loading	gal/ft.d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250

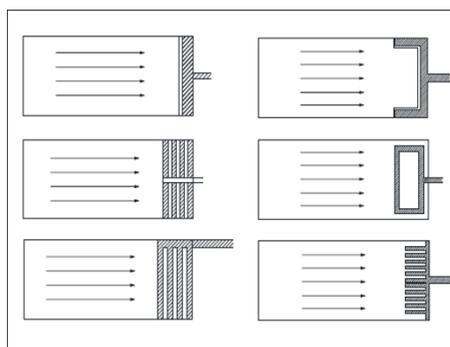
Sumber: Metcalf & Eddy, 2003 (hal 398)

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

Tabel 2. 7 Beragam Weir Loading Rate dari Beragam 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 sejumlah kriteria desain pada beragam sumber mengenai weir loading rate di atas, dapat dilihat bahwa jika pada bak terjadi density current, weir loading rate diharapkan tidak terlalu besar karena dapat menyebabkan terjadinya penggerusan pada partikel yang mengendap di sekitar outlet, sehingga diharapkan weir loading rate dapat sekecil mungkin. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas yang dibutuhkan untuk zona outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar, antara lain dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Beragam Susunan Pelimpah Pada Outlet

Sumber : Qasim et al., 2000

Rumus-rumus yang biasanya dipergunakan dalam perhitungan prasedimentasi yaitu:

Settling zone

- a. Kecepatan Pengendapan

$$V_s = \frac{g}{18} \times \frac{(S_s-1)d^2}{\nu} \quad (2.11)$$

Dimana : g = Percepatan gravitasi(m/d^2)

S_s = Berat jenis partikel

d = Diameter partikel (m)

ν = Viskositas kinematis (m^2/dt)

- b. Kecepatan Aliran (V_h)

$$V_h = \frac{L}{td} \quad (2.12)$$

Dimana : L = Panjang (m)

td = Waktu detensi (td)

- c. Reynold Number (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{V_h \times R}{\mu} \quad (2.13)$$

Dimana : V_h = Kecepatan aliran (m/det)

R = Jari-jari hidrolis (m)

μ = Absolute viskositas (m/s)

- d. Froude Number (N_{Fr})

$$N_{Fr} = \frac{V_h^2}{g \times R} \quad (2.14)$$

Dimana : V_h = Kecepatan aliran (m/det)

R = Jari-jari hidrolis (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

- e. Kecepatan scoring (V_{sc})

$$V_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (\rho_s - \rho_w) \times N_{Fr}}{\alpha \times \rho_w}} \quad (2.15)$$

Dimana : V_{sc} = Kecepatan scoring (m/det)

$$\rho_{\text{sludge}} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{w air}} = 997 \text{ kg/m}^3 \text{ (Reynold, 1996)}$$

Kontrol penggerusan (scoring) $\beta = 0,02 - 0,12$; $\alpha = 0,03$

Inlet zone

- a. Luas Permukaan Pintu Air

$$A = \frac{Q}{v} \quad (2.16)$$

Dimana : Q = Debit (m^3/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

- b. Headloss di Saluran Pengumpul

$$v = \frac{1}{n} \left(\frac{w \times h}{w+2h} \right)^{2/3} \left(\frac{H_f}{L} \right)^{2/3} \quad (2.17)$$

Dimana : w = Lebar saluran pengumpul (m)

L = Panjang saluran pengumpul (m)

n = Koefisien manning

- c. Headloss Pintu Air

$$H_f = \frac{Q}{2,746 \times H^{2/3} \times L_p} \quad (2.18)$$

Dimana : Q = Debit (m^3/s)

Lp = Lebar saluran pengumpul (m)

H = Tinggi saluran pengumpul (m)

Outlet zone

Apabila menggunakan saluran pelimpah :

- a. Tinggi Peluapan melalui V Notch (H)

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} H^{5/2} \quad (2.19)$$

Dimana : Q = Debit (m^3/s)

Cd = Koefisien drag

g = Percepatan gravitasi (m/det^2)

H = Tinggi air diatas saluran pelimpah (m)

- b. Saluran Pengumpul

$$Q = 1,84 \times B \times h^{3/2} \quad (2.20)$$

Dimana :

Q = Debit (m^3/s)

B = Lebar pelimpah/gutter (m)

H = Kedalaman gutter (m)

Sludge zone

$$V = \frac{1}{3} \times t \times (A1 + A2 + (A1 \times A)^{1/2}) \quad (2.21)$$

Dimana :

V = Volume ruang lumpur (m^3)

t = Tinggi ruang lumpur (m)

$A1$ = Luas atas (m^2)

$A2$ = Luas bawah (m^2)

2.4.3 Aerasi

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

- Penambahan jumlah oksigen.
- Penurunan jumlah karbon dioxide (CO_2).
- Menghilangkan hydrogen sulfide (H_2S), methan (CH_4) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

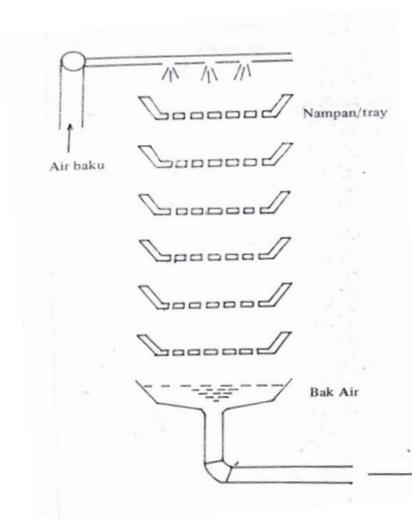
Aerasi secara luas telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan jumlah besi dan mangan terlalu tinggi zat tersebut

memberikan rasa pahit pada air, menghitamkan pemasakan beras dan memberikan noda hitamkecoklat-coklatan pada pakaian yang dicuci.

Oksigen yang berada di udara, melalui proses aerasi ini akan selanjutnya akan bereaksi dengan senyawa ferus dan manganous terlarut merubah menjadi ferric (Fe) dan maganic oxide hydratesyang tidak bisa larut. Setelah itu dilanjutkan dengan pengendapan (sendimentasi) atau penyaringan (filtrasi). Perlu dicatat bahwa oksidasi terhadap senyawa besi dan mangan di dalam air yang kecil (waterfall) aerators/aerator air terjun). Atau dengan mencampur air dengan gelembung- gelembung udara (bubble aerator). Dengan kedua cara tersebut jumlah oxigen pada air bisa dinaikan 60 – 80% (dari jumlah oksigen yang tertinggi, yaitu air yang mengandung oksigen sampai jenuh) pada aerator air terjun (waterfall aerator) cukup besar bisa menghilangkan gas-gas yang terdapat dalam air. Jenis-jenis aerasi, antara lain:

a. Waterfall aerator (aerator air terjun)

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



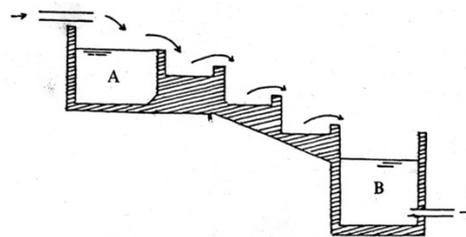
Gambar 2. 6 Multiple Tray Aerator

Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lobang-lobang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang air dibagi rata

melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun kebawah 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- lempengan absetos cement berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiamter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.

b. Cascade Aerator

Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kira- kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 m³/det per meter². Untuk menghilangkan gerak putaran (turbulence) guna menaikkan effesien aerasi, hambatan sering ditepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan tray aerators, ruang (tempat) yang diperlukan bagi casade aerators agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.



Gambar 2. 7 Cascade Aerator

Keterangan:

A = Air baku

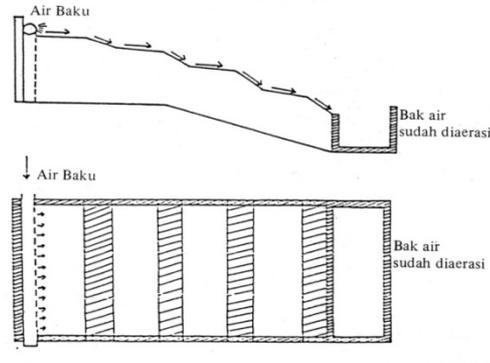
B = Air sudah diaerasi C = Inlet

D = Lubang pembersih E = Out let

c. Sumberged Cascade Aerator

Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung- gelembung udara kedalam air . Total ketinggian jatuh

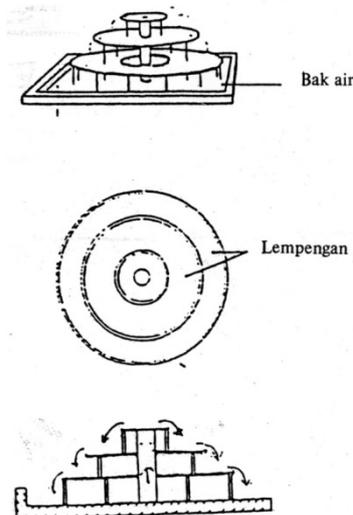
kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 05 m³ /det per meter luas.



Gambar 2. 8 Aerasi Tangga Aerator

d. Multiple Plat Form Aerator

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

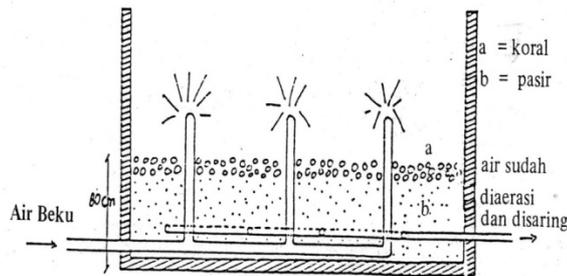


Gambar 2. 9 Multiple Plat Form Aerator

e. Spray Aerator

Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (Stationary nozzles) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara disekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik. Sprayaerator sederhana dierlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air kearah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang

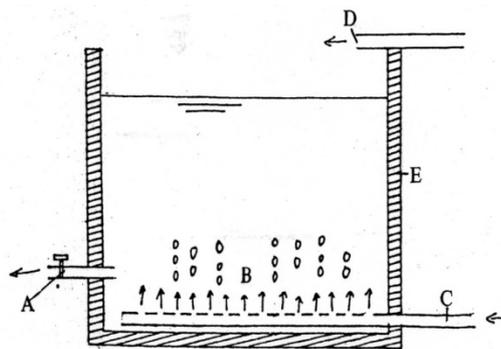
panjangnya 5-20 mm. piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nosel untuk spray aerator bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar.



Gambar 2. 10 Spray Aerator

f. Aerator Gelembung Udara (Bubble aerator)

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



Gambar 2. 11 Bubble Aerator

Keterangan :

A = Out Let

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = Inlet air baku

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) adalah 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-unsur tertentu yang ingin dihilangkan. Secara garis besar, desain dan karakteristik operasional aerator dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000) sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Desain dan Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Gravitasi: <i>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 Hidrolik: 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
	70-90% CO ₂	Tinggi 1,2-9 m

Spray Aerator	25-40 H ₂ S	Diameter nozzle: 2,5-4 cm jarak nozzle: 0,6-3,6 m Debit nozzle: 5-10 l/det Luas Bak: 105-320 m ² /m ³ .det tekanan semprotan: 70 kPa
<i>Aerator Terdifusi</i>	80% VOCs	waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m ³ /m ² air tangka - kedalaman: 2,7-4,5 - Lebar: 3-9 m - Lebar/kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang diffuser: 2-5mm
<i>Aerator Mekanik</i>	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	waktu detensi: 10-30 menit kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

2.4.4 Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien dengan menambahkan bahan koagulan (Dalimunthe, 2007; Shammass & Wang, 2016).

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 2.9 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2. 9 Beberapa Jenis Koagulan Dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	Al ₂ (SO ₄) ₃ .xH ₂ O x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium aluminat	Na ₂ Al ₂ O ₄	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	Al _n (OH) _m Cl _{3n-m}	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferri sulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri klorida	FeCl ₃ .6 H ₂ O	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	FeSO ₄ .7H ₂ O	Kristal halus	Asam	> 8,5

Sumber: Sugiarto (2006)

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

1. Pengaruh pH

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 7 (netral).

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 yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

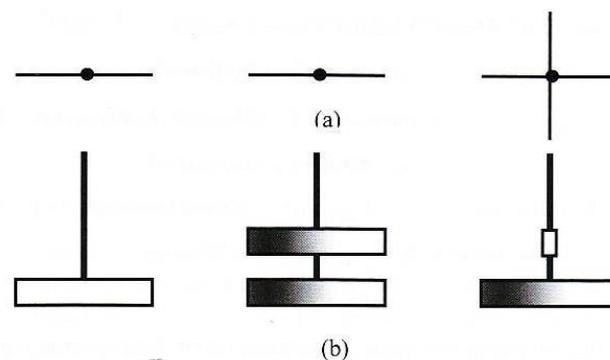
4. Pengadukan (*mixing*)

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 mikroflok. 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 suatu penggumpalan yang 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 (Sutrisno, 1992).

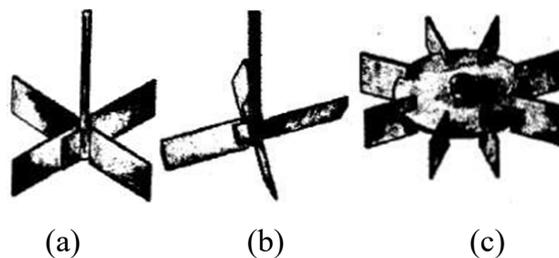
Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling).



Gambar 2. 12 Tipe Paddle

(a) tampak atas, (b) tampak samping

Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012 hal 112



Gambar 2. 13 Tipe Turbine

(a) turbine blade lurus, (b) turbine blade dengan piringan, (c) turbine dengan blade menyerong

Sumber: (Qasim, et al., 2000)



Gambar 2. 14 Tipe Propeller

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

Sumber: (Qasim, et al., 2000)

Tabel 2. 10 Kriteria Impeller

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

Sumber : Reynolds & Richards (1996:184)

Tabel 2. 11 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, putch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, putch 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), D _i /W _i =4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, D _i /W _i =6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, D _i /W _i =8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, D _i /W _i =6	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, D _i /W _i =8	71,0	3,82

Sumber: Reynolds & Richards (1996:188)

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 detik⁻¹) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Camp) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Rumus Perhitungan Unit Koagulasi – Flokulasi:

1. Kebutuhan koagulan

$$\mathbf{Koagulan = Dosis \times Q} \quad (2.22)$$

Dimana :

Koagulan = Kebutuhan Koagulan (kg/hari)

Dosis = Dosis Koagulan (mg/L)

Q = Debit Limbah (m³/s)

2. Kadar Kebutuhan Koagulan

$$\mathbf{Kadar Koagulan = C Koagulan \times Koagulan} \quad (2.23)$$

Dimana :

Kadar Kebutuhan Koagulan = Kadar Koagulan yang Dibutuhkan (kg/hari)

C Koagulan = Kadar Koagulan (%)

Koagulan = Kebutuhan Koagulan (kg/hari)m³/s)

3. Volume Koagulan

$$\mathbf{V Koagulan = \frac{Kadar Kebutuhan Koagulan}{\rho Koagulan}} \quad (2.24)$$

4. Dimana :

V Koagulan = Volume Koagulan yang Dibutuhkan (L/hari)

Kadar Kebutuhan Koagulan = Kadar Koagulan yang Dibutuhkan (kg/hari)

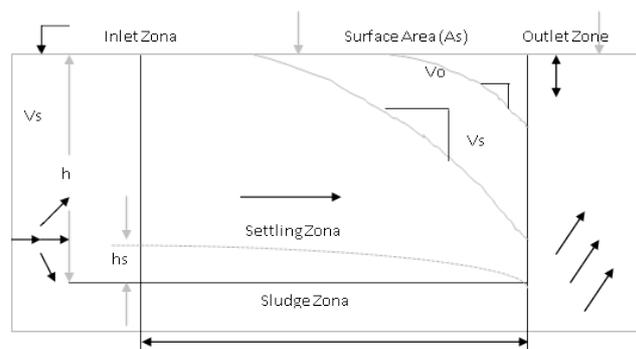
Koagulan = Densitas Koagulan (kg/L)

2.4.5 Sedimentasi

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

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

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona. Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 2. 15 Zona Pada Bak Sedimentasi

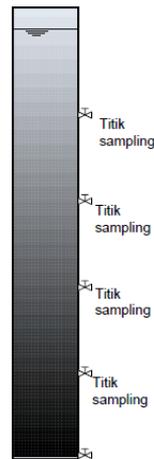
(Sumber : Al Layla, Water Supplay Engineering Design)

Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut :

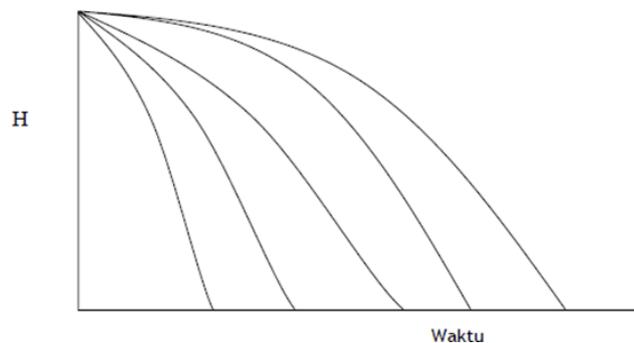
- Zona Inlet = Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling (\pm 25% panjang bak).
- Zona Settling = Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya.

- Zona Sludge = Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.
- Zona Outlet = Pada zona ini dihasilkan 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.

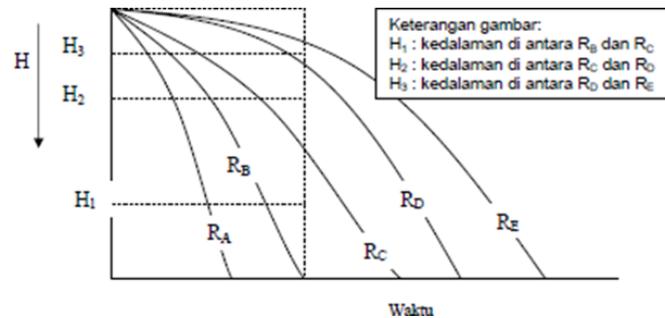


Gambar 2. 16 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2. 17 Grafik Iso-removal

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



Gambar 2. 18 Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

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

$$R_T = R_B + \frac{H_1}{H} (R_C - R_B) + \frac{H_2}{H} (R_D - R_C) + \frac{H_3}{H} (R_E - R_D) \quad (2.25)$$

Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan :

a. *Horizontal - flow Sedimentation*

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

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

Beberapa keuntungan horizontal-flow dibandingkan dengan up flow adalah:

- Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air.
- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim.
- Biaya konstruksi murah.
- Operasional dan perawatannya mudah.

b. Upflow Sedimentation

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

Efisiensi pengendapan partikel flokulan dipengaruhi oleh over flow rate, detention time dan kedalaman bak pengendap. Pengaruh dari faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

a. Detention time (t)

Membuat bak rectangular, aliran air memiliki kecepatan horisontal (V_o), sedangkan pengendapan partikel memiliki kecepatan pengendapan (V_s). Waktu detensi air secara teoritis adalah :

$$t = \frac{l}{v_o} \quad (2.26)$$

Dimana : l = Panjang bak

Waktu detensi secara teoritis untuk pengendapan flok adalah:

$$t_s = \frac{h}{v_s} \quad (2.27)$$

Dimana : h = Kedalaman bak

b. Over Flow Rate

$$S_o = \frac{Q}{A_s} \quad (2.28)$$

Dimana :

S_o = Over flow rate (m/jam)

Q = Debit (m^3 /jam)

A_s = Surface area (m^2)

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

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

2.4.6 Filtrasi

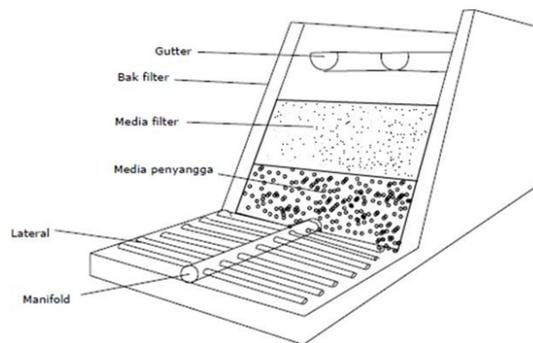
Menurut Al-Layla pada tahun 1978, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan proses filtrasi. Proses filtrasi sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

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

Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah:

- 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.



Gambar 2. 19 Bagian-Bagian Filter

Sumber : Reynold/Richards (1996)

Menurut Al-Layla pada tahun 1978, pada proses purifikasi air, rapid sand filters memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan slow sand filters. Kecepatan pada rapid sand filters ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara 4-5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$). Proses backwash pada rapid sand filter berbeda dengan slow sand filter. Pada rapid sand filters waktu backwash ditentukan dari headloss filter saat itu.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Effective Size (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari ratio ukuran rata – rata dan standar deviasinya.

Tabel 2. 12 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:		
	Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower	Tanpa/denganblower
	Kecepatan (m/jam)	<i>surface wash</i> 36 – 50	<i>surface wash</i> 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 (mm)	80 - 100	80 - 100
	ukuran butir (mm)	2 - 5	2 - 5
	Kedalaman (mm)	80 - 100	80 - 100
	ukuran butir (mm)	5 - 10	5 - 10
	Kedalaman (mm)	80 - 100	80 - 100
	ukuran butir (mm)	10 - 15	10 - 15
	Kedalaman (mm)	80 - 150	80 - 150
	ukuran butir (mm)	15 - 30	15 - 30
	Filter Nozel		
	Lebar slot nozel (mm)	< 0,5	< 0,5
	Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	> 4%	> 4%

Sumber : SNI 6774-2008

Tabel 2. 13 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai / Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m ²
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian

Ukuran pasir	<i>Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3</i>
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

Sumber : Schulz & Okun (1984)

Tabel 2. 14 Kriteria Filter Bertekanan

Unit	Nilai / Keterangan
Kecepatan penyaringan (m/jam)	12 – 33
Pencucian:	
- Sistem pencucian	Tanpa atau dengan blower & atau <i>surfacewash</i>
- Kecepatan (m/jam)	72 – 198
- Lama pencucian (menit)	-
- Periode antara dua pencucian (jam)	-
- Ekspansi (%)	30 – 50
Media pasir	
- Tebal (mm)	300 – 700
- Single media	600 – 700
- Media ganda	300 – 600
- Ukuran efektif, ES (mm)	-
- Koefisien keseragaman, UC	1,2 – 1,4
- Berat jenis (kg/L)	2,5 – 2,65
- Porositas	0,4
- Kadar SiO ₂	> 95%
Media antransit	
- Tebal (mm)	400 – 500

- ES (mm)	1,2 – 1,8
- UC	1,5
- Berat jenis (kg/L)	1,35
- Porositas	0,5
Dasar filter Filter Nozel	
- Lebar slot nozel (mm)	< 0,5
- Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	> 4%

Sumber: SNI 6774-2008

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

- Penurunan kapasitas produksi.
- Peningkatan kehilangan 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.

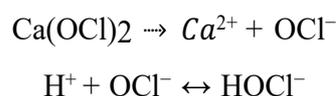
2.4.7 Desinfeksi

Desinfeksi merupakan salah satu proses dalam pengolahan air minum yang berfungsi untuk membunuh organisme patogen yang masih terdapat dalam air olahan. Yang terjadi dalam proses ini adalah dengan membubuhkan bahan kimia yang mempunyai kemampuan membasmi bakteri patogen seperti klor. Dalam perencanaan ini digunakan bahan kimia klor sebagai desinfektan. Bak ini sebagai tempat kontak antara chlor dengan air hasil pengolahan sehingga persyaratan bakteriologis dapat terpenuhi. Senyawa chlor yang sering digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OCl}_2)_2$ yang ada dipasaran dikenal dengan kaporit. Senyawa ini mengandung kurang lebih 60% chlor. Bak ini sebagai tempat pembubuhan desinfektan sehingga terjadi kontak antara air yang telah diolah dengan desinfektan. Karakteristik desinfektan yang baik:

- Efektif membunuh mikroorganisme patogen.
- Tidak beracun bagi manusia/hewan domestic.
- Tidak beracun bagi ikan dan spesies akuatik lainnya.
- Mudah dan aman disimpan, dipindahkan, dibuang.
- Rendah biaya.
- Analisis yang mudah dan terpercaya dalam air.
- Menyediakan perlindungan sisa dalam air minum.

1. Desinfeksi Kimiawi

Desinfektan yang paling sering digunakan adalah kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) dan gas chlor (Cl_2). Pada proses desinfeksi menggunakan kaporit, terjadi reaksi persamaan sebagai berikut:

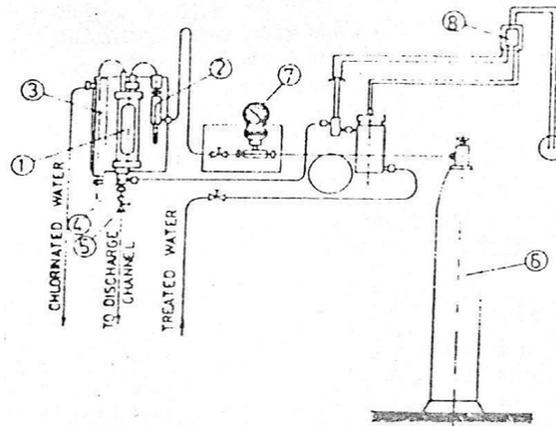


Sebagai suatu proses kimia yang menyangkut reaksi antara biomassa mikroorganisme perlu dipenuhi 2 syarat :

- Dosis yang cukup
- Waktu kontak yang cukup, minimum 30 menit

2. Desinfeksi Fisik

Desinfeksi menggunakan ultraviolet lebih aman daripada menggunakan klor yang beresiko membentuk trihalometan yang bersifat karsinogenik, tetapi jika digunakan ultraviolet sebagai desinfektan maka instalasi distribusi harus benar-benar aman dan menjamin tidak akan ada kontaminasi setelah desinfeksi. Apabila kontaminan masuk setelah air didesinfeksi, maka kontaminan tersebut akan tetap berada dalam air dan sampai ke tangan konsumen. Selain itu, biaya yang diperlukan juga lebih besar dibandingkan dengan desinfeksi menggunakan kaporit. Umumnya desinfeksi dilakukan sesaat sebelum air didistribusikan kepada konsumen.



Gambar 2. 20 Bak Klorinasi

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan, yaitu:

- Dosis chlorine
- Senyawa chlorine yang biasa digunakan
- Metode aplikasi
- Desain bak
- Meteran air klorinasi
- Filter
- Pipa pengadukan
- Koneksisitas air
- *Out valve*
- *Cloroyne clynder*
- *Manometer*
- *Relay*

Senyawa *chlorine* yang digunakan dalam pengolahan air minum adalah:

- *Chlorine* (Cl_2)
- Calsium Hypochlorite ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)
- Sodium Hypochlorite ($\text{Na}(\text{OCl})$)

Berikut rumusan untuk menghitung kebutuhan klor.

1. Penetapan DPC

- a. Siapkan labu erlenmeyer 500 ml/botol yang berisi sebanyak 3 buah.

- b. Siapkan larutan kaporit 0,1% (0,1 gram/100 ml air).
- c. Isi contoh air baku 250 ml yang sudah disaring ke dalam labu erlenmeyer, tambahkan larutan kaporit masing-masing 0,5 ml;0,75 ml;1,0 ml ke dalam labu Erlenmeyer.
- d. Kocok dan simpan di ruang gelap selama 30 menit.
- e. Periksa dan catat sisa klor dari masing-masing labu Erlenmeyer.
- f. Hitung DPC dengan rumus:

$$DPC = ([1000/250 \times V \times M] - D) \text{ mg/l}$$

Keterangan:

V = ml larutan kaporit 0,1% yang ditambahkan

M = kadar kaporit dalam air (misalnya = 60%)

D = sisa klor dalam air

2. Hitung dosis klor = Dosis klor (mg/L) = DPC + sisa klor
3. Kebutuhan klor = Q × Dosis klor × Kemurnian
4. Volume klor = Kebutuhan klor / Berat jenis klor
5. Volume pelarut = $\frac{100 - \text{konsentrasi larutan}}{\text{konsentrasi larutan}} \times \text{vol. kaporit}$
6. Volume larutan klor = $\frac{100}{\text{konsentrasi larutan}} \times \text{vol. kaporit}$
7. Dimensi bak = p x l x t

2.4.8 Reservoir

Reservoir pada Instalasi Pengolahan Air Minum mempunyai fungsi untuk menampung air hasil olahan IPAM sebelum didistribusikan ke konsumen. Bangunan ini selain digunakan untuk keperluan konsumen juga digunakan untuk keperluan instalasi. Maksud dari keperluan instalasi disini misalnya untuk proses backwash, pembersihan instalasi, pelarutan bahan kimia dll. Reservoir bisa berupa ground reservoir dan elevated reservoir. Jenis-jenis reservoir berdasarkan perletakkannya antara lain:

1. *Elevated Reservoir* (menara reservoir)

Reservoir ini digunakan bila head yang tersedia dengan menggunakan ground reservoir tidak mencukupi kebutuhan untuk

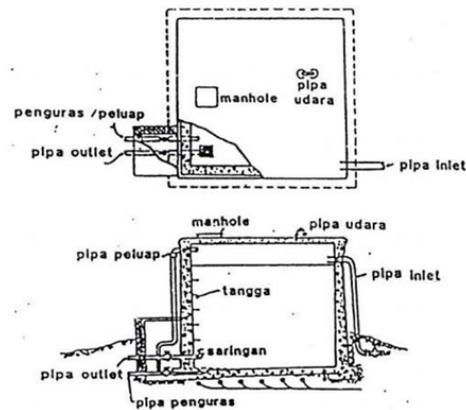
distribusi. Dengan menggunakan elevated reservoir maka air dapat didistribusikan secara gravitasi.



Gambar 2. 21 Reservoir Menara

2. *Ground Reservoir*

Ground reservoir dibangun di bawah tanah atau sejajar dengan permukaan tanah. Reservoir ini digunakan bila head yang dimiliki mencukupi untuk distribusi air minum. Jika kapasitas air yang didistribusikan tinggi, maka diperlukan ground reservoir lebih dari satu.



Gambar 2. 22 Reservoir Permukaan

3. *Stand Pipe*

Reservoir jenis ini hampir sama dengan elevated reservoir, dipakai sebagai alternatif terakhir bila ground reservoir tidak dapat diterapkan karena daerah pelayanan datar.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merancang reservoir adalah:

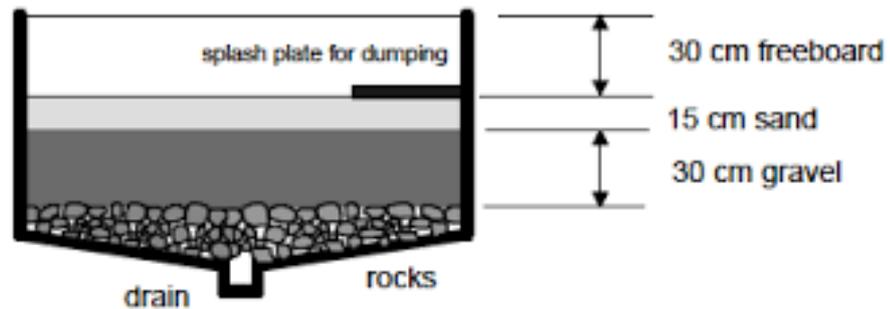
- a. Volume reservoir
- b. Tinggi elevasi energi
- c. Letak reservoir.
- d. Pemakaian pompa
- e. Konstruksi reservoir
- f. Ventilasi dan Manhole

2.4.9 Sludge Drying Bed

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur / sludge diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. 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. Sludge drying bed pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003)

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

berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2. 23 Sludge Drying Bed

2.5 Persen Removal

Berikut adalah tabel persen removal yang diketahui pada unit bangunan pengolahan air minum yang akan digunakan.

Tabel 2. 15 Persen Removal

Bangunan	%Removal	Sumber
Intake	-	-
Prasedimentasi	Kekeruhan = 65 – 80%	<i>Reynolds/Richards 2nd, Unit Operations and Processess in Environmental Engineering, page 130</i>
Aerasi	BOD = 90%	
Koagulasi-Flokulasi	-	-
Sedimentasi	Kekeruhan = 90%	<i>Droste, 1997, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, hal. 224</i>
Filtrasi	Kekeruhan = 90-100%	<i>Droste, Ronald L, 1997,</i>

		<i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> , hal. 225
Desinfeksi	Total Coliform = 100%	Droste, 1997, <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> , hal. 224

2.6 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing – masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini. Profil hidrolis IPAL adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “*hydrolic 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.