

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 yang biasa dipakai sebagai air baku yang nantinya akan digunakan untuk keperluan minum adalah air hujan, air tanah, air permukaan dan air laut. Di antara sumber-sumber tersebut yang paling banyak digunakan adalah air tanah dan air permukaan, sedangkan air laut jarang digunakan karena membutuhkan teknologi tinggi dan biaya yang mahal untuk mengolahnya.

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:

1. 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).

2. Air Permukaan

Air permukaan 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 dan parameter lainnya. Air permukaan yang banyak digunakan

untuk sumber air baku pengolahan air minum adalah air sungai dan air danau (Astono, 2011).

2.1.2 Pemilihan Sumber Air Baku

Dalam memilih sumber air baku harus memperhatikan 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. Konstruksi 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.
- (Droste, 1997)

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 air bersih. 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), chloride (Cl), nitrit, fluorida (F), dan logam berat.

c. Persyaratan biologis

Air bersih tidak boleh mengandung kuman patogen dan paristik 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 sehari 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 aktivitas 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. Air minum yang disuplai kepada pelanggan harus menyediakan keamanan dan estetika menarik air minum dan terlepas dari gangguan dan biaya yang masuk akal (Kawamura, 1991). Standar air minum bergantung dari kebijakan pemerintah pusat. Kebijakan standart layak air minum melihat kondisi suatu negara yang bersangkutan. Secara umum, Parameter standar air dibedakan menjadi dua yaitu standar kualitas air baku dan standar kualitas air minum yang dijelaskan sebagai berikut :

2.2.1 Kualitas Air Baku

Standar kualitas air minum di Indonesia diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Dimana air yang tersalur harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih dan dapat dinilai dari penglihatan bahwa air seharusnya bersih tanpa berbau, berwarna dan keruh dan layak untuk didistribusikan kepada pelanggan.

Kualitas mutu air minum dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

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

Parameter wajib kualitas air minum yang diterapkan di Pengolahan air minum mengacu pada PERMENKES No 492 Tahun 2010 tentang lampiran wajib parameter kualitas air minum, dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Lampiran Wajib Parameter 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 Coliform	Jumlah per 100 mL sampel	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

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan
	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 : (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Umum Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, 2010)

2.3 Bangunan Pengolahan Air Permukaan

Rancangan proses pengolahan air permukaan menjadi air minum disesuaikan dengan karakteristik umum air permukaan. Parameter yang perlu diperhatikan adalah parameter yang kadarnya signifikan besar atau melebihi

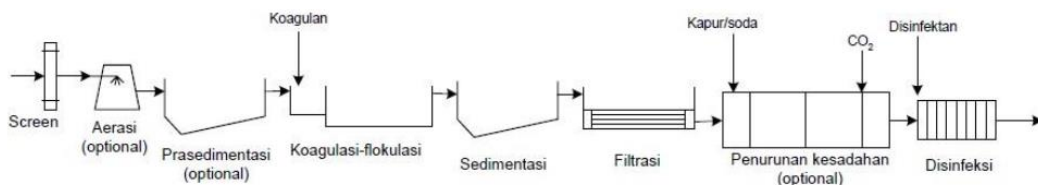
nilai baku mutu air minum. Air permukaan yang bisa diolah untuk air minum terdiri dari :

a. Air Sungai

Karakteristik umum air sungai adalah terdapat kandungan partikel tersuspensi atau koloid. Oleh karena itu, unit pengolahan air paling tidak terdiri atas:

- Koagulasi-flokulasi
- Sedimentasi
- Filtrasi
- Desinfeksi

Bila air sungai mempunyai kekeruhan atau kadar lumpur yang tinggi, maka diperlukan tambahan unit pretreatment meliputi screen dan prasedimentasi. Bila kadar oksigen sangat rendah, maka diperlukan tambahan unit aerasi. Bila terdapat kandungan kesadahan yang tinggi, maka diperlukan tambahan unit penurunan kesadahan (presipitasi dengan kapur/soda sedimentasi rekarbonasi). Berikut ini skema unit pengolahannya:



Gambar 2.1 Skema Unit Pengolahan Air Minum

Sumber : (Masduqi *et al.*, 2012)

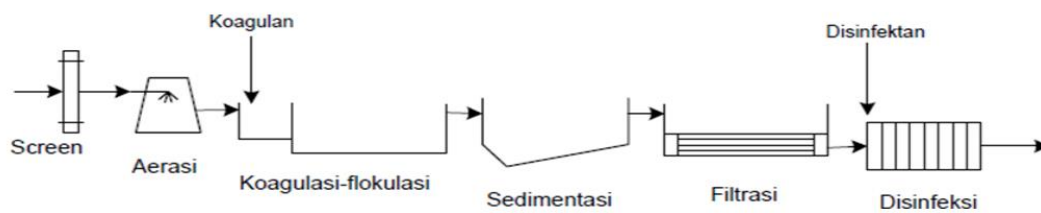
b. Air Danau

Karakteristik air danau umumnya menyerupai air sungai, yaitu terdapat kandungan koloid. Karakteristik yang spesifik adalah kandungan oksigen rendah karena umumnya air danau relatif tidak bergerak, sehingga

kurang teraerasi. Dengan karakteristik umum demikian, maka diperlukan unit pengolahan sebagai berikut:

- Aerasi
- Koagulasi-flokulasi
- Sedimentasi
- Filtrasi
- Disinfeksi

Berikut ini gambar skema unit pengolahannya :



Gambar 2.2 Skema Unit Pengolahan Air Danau

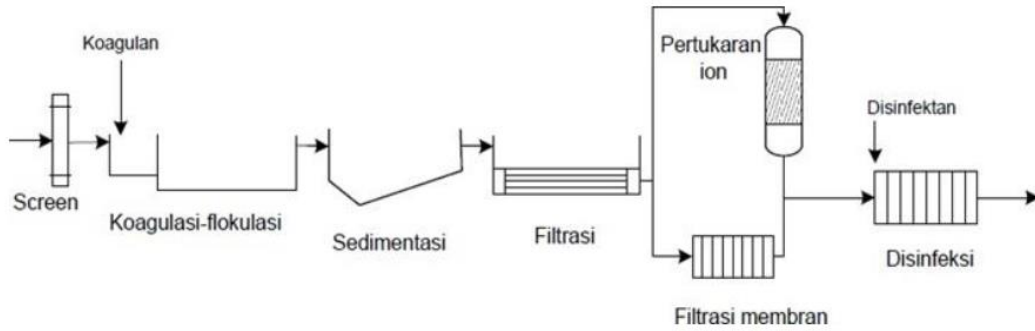
Sumber : (Masduqi *et al.*, 2012)

c. Air Payau

Air permukaan yang bersifat payau (kadar garam sekitar 5000 – 10000 mg/l) berada di daerah rawa di pesisir. Selain kadar garam, karakteristik air rawa ini hampir sama dengan air sungai, sehingga diperlukan proses pengolahan berupa:

- Koagulasi
- Flokulasi
- Sedimentasi
- Filtrasi
- Ditambah dengan unit pengolahan untuk menurunkan kadar garam, misal pertukaran ion atau filtrasi membran (mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dialisis, elektrodialisis, reverse osmosis).

Berikut ini gambar skema unit pengolahannya :



Gambar 2.3 Skema Unit Pengolahan Air Payau

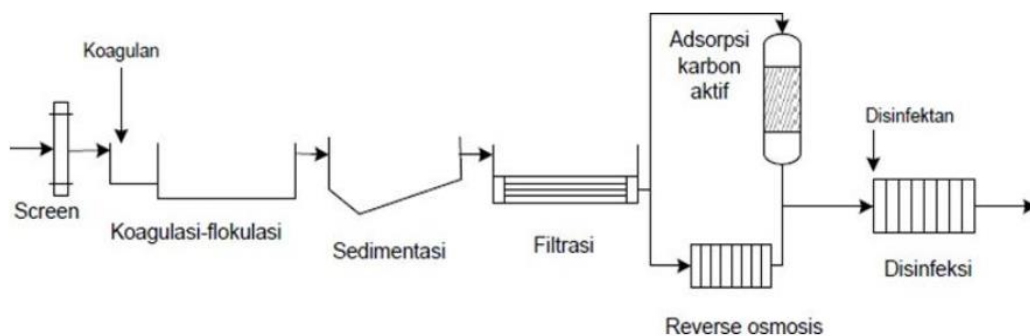
Sumber : (Masduqi *et al.*, 2012)

d. Air Gambut

Air gambut adalah air yang kandungan bahan organik alamiahnya tinggi, terutama asam humat dan asam fulvat. Oleh karena itu diperlukan unit pengolahan untuk menghilangkan bahan-bahan ini, misal slow sand filter (bila kandungan koloid rendah) atau adsorpsi karbon aktif atau reverse osmosis. Jika air gambut tersebut mengandung koloid tinggi, maka diperlukan unit pengolahan berupa:

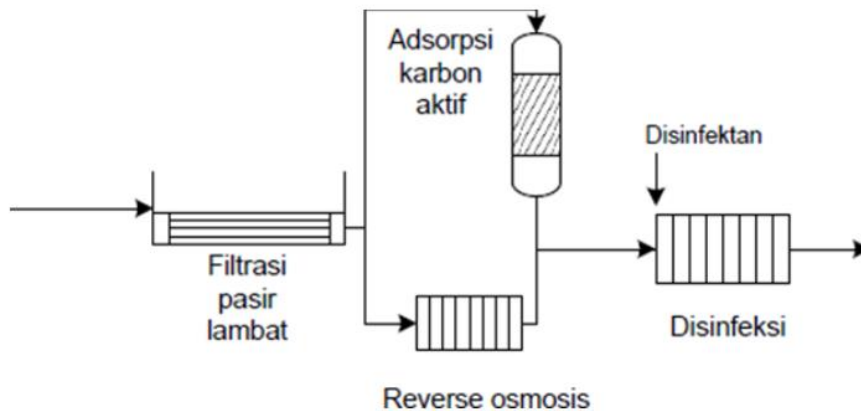
- Koagulasi Flokulasi
- Sedimentasi
- Filtrasi.

Berikut ini gambar skema unit pengolahannya :



Gambar 2.4 Skema Unit Pengolahan Air Gambut dengan Partikel Koloid Tinggi

Sumber : (Masduqi *et al.*, 2012)



Gambar 2.5 Skema Unit Pengolahan Air Gambut dengan Partikel Koloid Rendah
 Sumber : (Masduqi et al., 2012)

2.4 Unit 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. Untuk persyaratan lokasi Intake harus memperhatikan beberapa faktor di bawah ini;

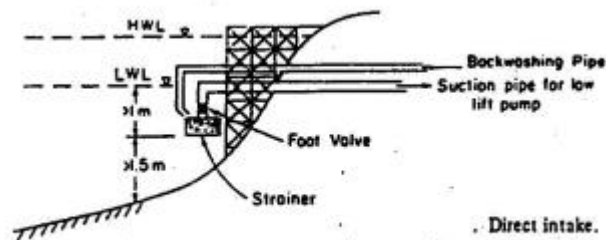
1. Penempatan bangunan penyadap (*intake*) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (*up-lift*);
4. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya;

5. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian;
6. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air;
7. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku;
8. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun;
9. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007, 2007).

Sedangkan 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.



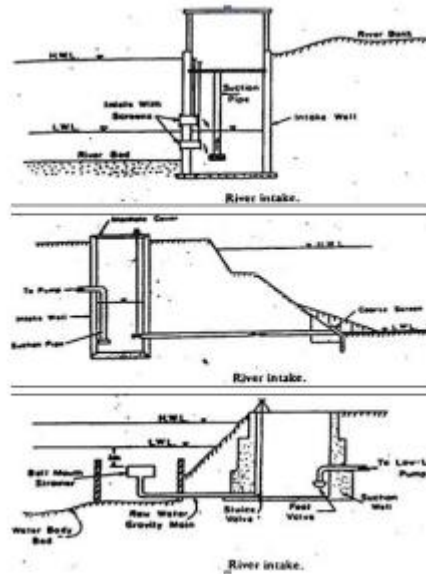
Gambar 2.6 Direct Intake
Sumber : (Kawamura, 2000)

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

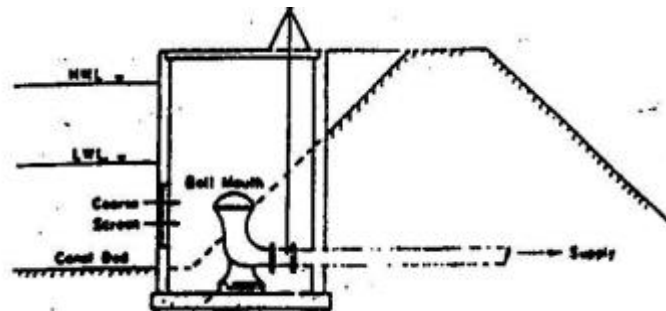
level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi.



Gambar 2.7 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 2.8 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 muka air, 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.

2.4.1.1 Rumus Perhitungan Intake

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

1. Debit tiap Intake

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

Keterangan : Q = Debit (m³/s)

\sum pipa = Jumlah Pipa Intake

2. Mencari Luas Penampang Pipa Inlet

$$A = \frac{Q \text{ pipa Intake}}{v}$$

Keterangan : A = Luas Penampang (m²)

Q = Debit (m³/s)

v = Kecepatan (m/s)

3. Mencari Diameter Pipa Inlet

$$D = \left[\frac{4 \times A}{\pi} \right]^{0,5}$$

Keterangan : D = Diameter Pipa (m)

A = Luas Penampang (m²)

4. Rumus Umum Kecepatan (v)

$$v = Q/A$$

Keterangan : v = Kecepatan (m/s)

Q = Debit (m³/s)

A = Luas Penampang (m²)

5. Head Losses Mayor Sepanjang Pipa

$$H_f = \left[\frac{10,67 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,78}} \right] \times L$$

Keterangan : H_f = Headlosses Mayor (m)

Q = Debit (m³/s)

L = Panjang Pipa (m)

C = Koefisien Kekasaran Pipa

D = Diameter Pipa (m)

Tabel 2.2 Koefisien Kekasaran Pipa

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; Vitriified</i>	110
<i>Old cast iron</i>	100
<i>Very old and corroded cast iron</i>	80

Sumber : (Evetts *et al.*, 1987)

6. Head Losses Minor (H_m)

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

Keterangan : H_m = Minor Losses (m)

k = Koefisien kehilangan energi

v = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m²/s)

Tabel 2.3 Nilai K untuk Kehilangan Energi

Valve, Fittings, and Special	K Value
Entrance, suction bell (32 in) 81 cm	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 : (Motley *et al*, 2000)

7. Mencari Slope Pipa

$$S_{HWL} = \frac{H_f}{L}$$

Keterangan : S = Slope Pipa (m/m)

L = Panjang Pipa (m)

H_f = Head Losses (m)

8. Jumlah Kisi pada Bar Screen (n)

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

Keterangan : n = Jumlah Kisi

d = Lebar Batang Kisi (m)

r = Jarak Antar Kisi (m)

D = Lebar Screen (m)

9. Mencari Velocity Head (h_v)

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

Keterangan : h_v = Velocity Head (m)

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m²/s)

10. Headloss melalui screen (H_{f,screen})

$$Hf_{screen} = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} \times Hv \times \sin\alpha$$

- Keterangan : β = Koefisien minor losses (m)
 w = Lebara bar (cm)
 b = Jarak antar bar (cm)

Tabel 2.4 Faktor Minor Losses Bar

Bentuk Bar	Nilai Minor Losses (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 : ((Motley *et al.*, 2000)

2.4.2 Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi – Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Wang *et al.*, 2016).

Koagulan atau Flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel 2.8 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2.5 Beberapa Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Alumunium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ $x = 14,16,18$	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium Aluminat	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyalumunium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferri Sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal Halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

Sumber : (Said, 2017)

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 menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

3. Dosis Koagulan

Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Dosis koagulan persatuan unit kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflok yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

4. Pengadukan (mixing)

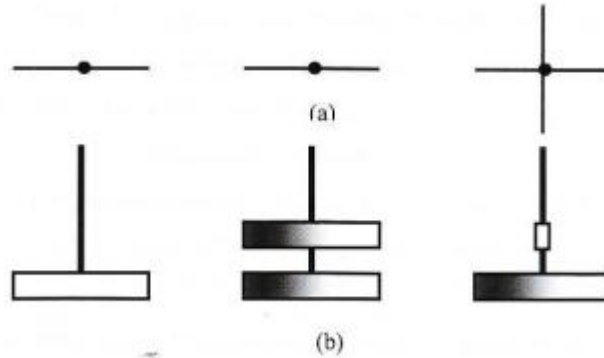
Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflok. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

5. Pengaruh Garam

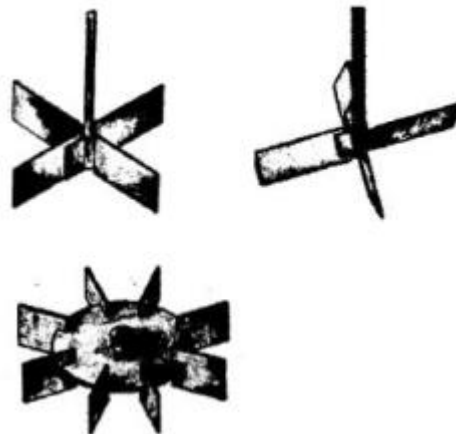
Garam – garam ini dapat mempengaruhi proses suatu penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh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

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). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter

pengadukan yaitu G dan t_d . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta K_L dan K_T .



Gambar 2.9 Tipe Paddle
 (a) Tampak atas, (b) Tampak samping
 Sumber : (Masduqi *et al.*, 2012)



Gambar 2.10 Tipe Turbine
 (a) Turbine blade lurus, (b) Turbine blade dengan piringan, (c) Turbine dengan blade menyerong
 Sumber : (Qasim, *et al.*, 2000)



Gambar 2.11 Tipe Propeller
(a) Propeller 2 blade, (b) Propeller 3 blade

Sumber : (Qasim *et al*, 2000)

Tabel 2.6 Kriteria Impeller

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

Sumber : (Reynolds & Richards, 1996)

Tabel 2.7 Nilai Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (detik ⁻¹)
20	100
30	900
40	790
50 ≥	700

Sumber : (Reynolds & Richards, 1996)

Tabel 2.8 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

Jenis Impeller	KL	KT
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, woth 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)

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga 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.

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. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah (Masduqi *et al.*, 2012) :

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

2.4.2.1 Rumus Perhitungan Unit Koagulasi – Flokulasi

1. Kebutuhan Koagulan

$$\text{Koagulan} = \text{Dosis} \times Q$$

Keterangan :

$$\text{Koagulan} = \text{Kebutuhan Koagulan (kg/hari)}$$

$$\text{Dosis} = \text{Dosis Koagulan (mg/L)}$$

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

2. Kadar Kebutuhan Koagulan

$$\text{Kadar Koagulan} = C \text{ Koagulan} \times \text{Koagulan}$$

Keterangan :

Kadar Kebutuhan Koagulan = Kadar Koagulan yang Dibutuhkan(kg/hari)
 C Koagulan = Kadar Koagulan (%)
 Koagulan = Kebutuhan Koagulan (kg/hari m³/s))

3. Volume Koagulan

$$V \text{ Koagulan} = \frac{\text{Kadar Kebutuhan Koagulan}}{p \text{ Koagulan}}$$

Keterangan :

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

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

Koagulan = Densitas Koagulan (kg/L)

2.4.3 Sedimentasi

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

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

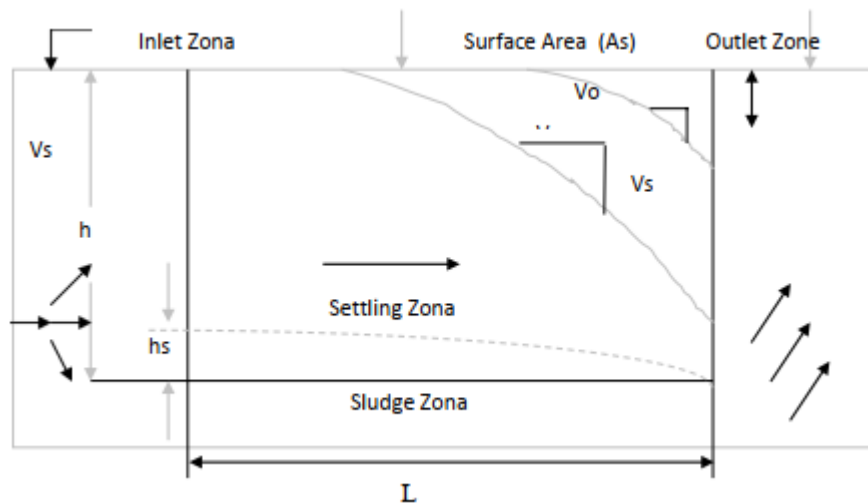
Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

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

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

- Zona Inlet
- Zona Outlet
- Zona Settling
- Zona Sludge

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



Gambar 2.12 Zona Pada Bak Sedimentasi

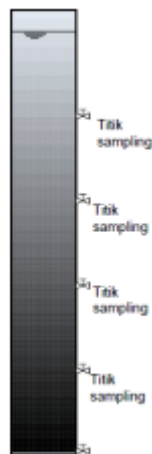
Sumber : (Al-Layla, *et al* , 1977)

Dimana pada setiap zona terjadi proses – proses sebagai berikut :

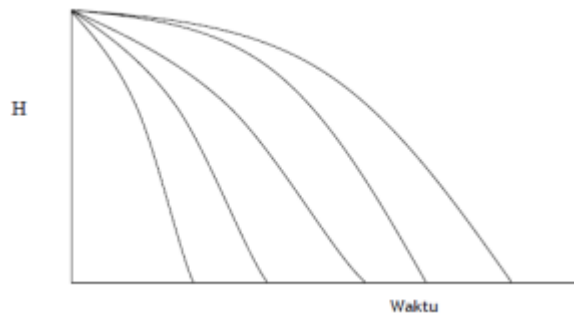
- Zona Inlet : Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling (\pm 25% panjang bak)
- Zona Settling : Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya

- c. 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.
- d. 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.

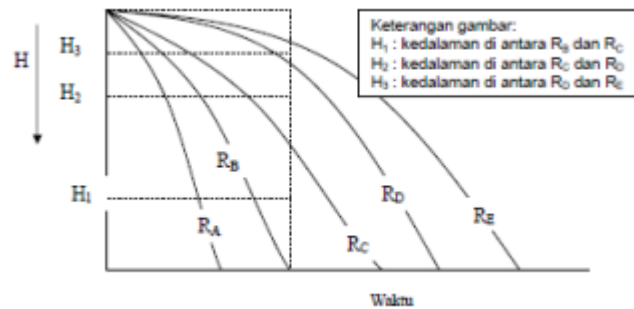


Gambar 2.13 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2.14 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 H1, H2, H3.



Gambar 2.15 Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

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

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

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 (Reynolds & Richards, 1996).

Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan :

1. *Horizontal - flow Sedimentation*

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

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

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

- Lebih bisa menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air

- Prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim
- Biaya konstruksi murah
- Operasional dan perawatannya mudah

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

2. *Upflow Sedimentation*

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

2.4.3.1 Rumus Perhitungan Unit Sedimentasi

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

1. *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 :

$$t = \frac{l}{v_o}$$

Keterangan : l = Panjang bak

Waktu detensi secara teoritis untuk pengendapan flok adalah :

$$t_s = \frac{h}{v_s}$$

Keterangan : h = Kedalaman bak

Sedangkan untuk removal partikel $t = t_s$, maka waktu detensi dapat ditentukan oleh faktor lebar dan kedalaman bak.

2. *Over Flow Rate*

$$S_o = \frac{Q}{A_s}$$

Keterangan : S_o = *Over Flow Rate* (m/jam)

Q = Debit (m^3 /jam)

A_s = *Surface Area* (m^2)

Over flow rate ditentukan oleh *surface area* dimana semakin besar *surface area*, maka kecepatan pengendapan akan semakin cepat dan efisiensi bak semakin . Apabila $V_o = V_s = \frac{h}{t_s}$, maka semakin besar h akan menurunkan efisiensi. Sebaliknya semakin besar waktu detensi akan meningkatkan efisiensi sedimentasi.

2.4.4 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 sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

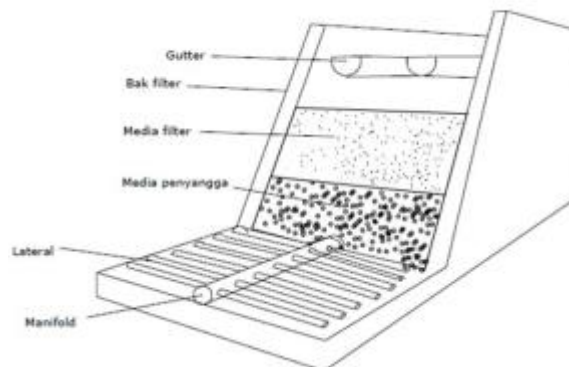
Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang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

Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah:

1. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
2. Proses sedimentasi di dalam filter

3. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang sudah terkumpul di atas lapisan filter.
4. Proses adsorpsi atau proses elektrokinetik.
5. Proses koagulasi di dalam filter.
6. Proses biologis di dalam filter.
7. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter.

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukurannya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. Namun jika ukuran partikel terlalu kecil (contohnya: partikel koloid dan bakteri) akan lebih sulit untuk dihilangkan karena akan lebih mudah lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Namun dapat juga digunakan oleh partikel-partikel flok yang belum seratus persen terendapkan pada bak sedimentasi untuk mengendap pada lapisan kerikil ini.



Gambar 2.16 Bagian – bagian Filter
 Sumber : (Reynolds & Richards, 1996)

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain *rapid sand filter*, *slow sand filter*, *pressure sand filter*, *multiple media filters*, *diatomaceous earth filters*, *upflow filters* dan lain sebagainya.

Menurut Al-Layla (1978), pada proses purifikasi air, *rapid sand filters* memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand*

filters. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara 4 – 5 m³/m²hr (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 m³/m².hari). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45- 0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*. Pada *rapid sand filters* **waktu *backwash* ditentukan dari headloss filter saat itu.**

Keuntungan menggunakan *rapid sand filters* adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Sedangkan kekurangan dari *rapid sand filters* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan

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.

Uniformity Coefficient (UC) atau koefisien keragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60 % fraksi berat terhadap ukuran (*size*).

Kriteria untuk keperluan *rapid sand filter* adalah:

Single media pasir : UC = 1,3 – 1,7
ES = 0,45 – 0,7 mm

Untuk dual media : UC = 1,4 – 1,9
ES = 0,5 – 0,7 mm

1. Filter Pasir Cepat

Filter pasir cepat atau *rapid sand filter* adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 6 hingga 11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika kekeruhan pada influen filter pasir cepat berkisar 5 – 10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi *et al.*, 2012). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.9 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) ● Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) 	 80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10	 80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10
	<ul style="list-style-type: none"> ● Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) ● Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) b. Filter Nozel <ul style="list-style-type: none"> ● Lebar slot nozel (mm) ● Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	80 – 100 10 – 15 80 – 100 15 – 30 < 0,5 > 4 %	80 – 100 10 – 15 80 – 100 15 – 30 < 0,5 > 4 %

Sumber : (Standar Nasional Indonesia 2008)

2. Filter Pasir Lambat

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

Tabel 2.10 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	Effective size 0,25 – 0,3 mm, uniformity coefficient 2 – 3
Kriteria	Nilai/Keterangan
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 : (Okun dan Alexander, 1984)

3. Filter Bertekanan

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

Tabel 2.11 Kriteria Filter Bertekanan

No.	Unit	Nilai / Keterangan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12 – 33
2	Pencucian : <ul style="list-style-type: none"> ● Sistem pencucian ● Kecepatan (m/jam) ● Lama pencucian (menit) ● Periode antara dua pencucian (jam) ● Ekspansi (%) 	Tanpa atau dengan blower % atau surface wash 72 – 198 - - 30 – 50
3	Media Pasir <ul style="list-style-type: none"> ● Tebal (mm) ● Single media ● Media ganda ● 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) ● ES (mm) 	400 – 500 1,2 – 1,8

	<ul style="list-style-type: none"> ● UC ● Berat jenis (kg/L) ● Porositas 	<p>1,5</p> <p>1,35</p> <p>0,5</p>
5	<p>Dasar filter</p> <p>Filter</p> <p>Nozel</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Lebar slot nozel (mm) ● Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	<p>< 0,5</p> <p>> 4 %</p>

Sumber : (Standar Nasional Indonesia, 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 tereksansi. Umumnya tinggi sebesar 15 sampai 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter yaitu:

- 1) Menggunakan menara air
- 2) Interfilter

2.4.5 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. Untuk dapat merencanakan bak chlorinasi maka terlebih dahulu harus ditentukan dosis chlor yang dibutuhkan. Bak ini sebagai tempat pembubuhan desinfektan sehingga terjadi kontak antara air yang telah diolah dengan desinfektan. Chlorin $\text{Ca}(\text{OCl}_2)_2$ merupakan salah satu desinfektan kimia yang umum digunakan dalam pengolahan air bersih maupun air buangan. Karakteristik desinfektan yang baik :

1. Efektif membunuh mikroorganisme patogen
2. Tidak beracun bagi manusia/hewan domestik
3. Tidak beracun bagi ikan dan spesies akuatik lainnya
4. Mudah dan aman disimpan, dipindahkan, dibuang
5. Rendah biaya
6. Analisis yang mudah dan terpercaya dalam air
7. Menyediakan perlindungan sisa dalam air minum

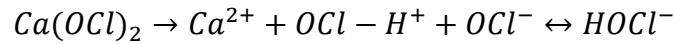
Ada banyak hal yang mempengaruhi proses desinfeksi, diantaranya adalah

- a. Oksidan kimia
- b. Iradiasi
- c. Pengolahan termal dan
- d. Pengolahan elektrokimia

Jenis – Jenis desinfeksi :

- Desinfeksi kimiawi, berupa oksidator seperti chlorine, ozon dan kaporit
 - Desinfeksi fisik, misalnya sinar ultraviolet
1. Desinfeksi Kimiawi

Desinfektan yang paling sering digunakan adalah kaporit (Ca(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

Selain itu diperlukan proses pencampuran yang sempurna agar desinfektan benar-benar tercampur. Desinfeksi menggunakan ozon lazim digunakan untuk desinfeksi hasil pengolahan *waste water treatment*.

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.

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
- Koneksitas air
- *Out valve*
- *Clorine clynder*
- *Manometer*
- *Relay*

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

- a. *Chlorine* (Cl_2)
 - Merupakan gas yang sangat beracun dan sangat korosif sehingga ventilasi pada permukaan atau level lantai diperlukan.
 - Liquid dan gas chlorin ditangani dalam pipa besi tempa, tetapi larutan *chlorin* dengan korosif tinggi ditangani dengan pipa plastik.
 - Storage disediakan untuk *supplay* 30 hari
- b. *Calcium Hypochlorite* ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)
 - Merupakan senyawa *chlor* yang paling sering dipakai untuk desinfektan
 - Mengandung 70% *Chlorine*
- c. *Sodium Hypochlorite* ($\text{Na}(\text{OCl})$)
 - Tersedia dengan jumlah 1,5 - 15%
 - Larutan dapat didekomposisi lebih cepat pada konsentrasi tinggi

2.4.5.1 Rumus Perhitungan Unit Klorinasi

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

2.4.6 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)

Menara *reservoir* dapat direncanakan dari kebutuhan air minum yang diperlukan untuk instalasi pengolahan air minum tersebut, dengan mengetahui jumlah dan pemakaian air untuk instalasi dapat direncanakan dimensi menara instalasi dan ketinggiannya. *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. Tinggi menara tergantung kepada *head* yang dibutuhkan.

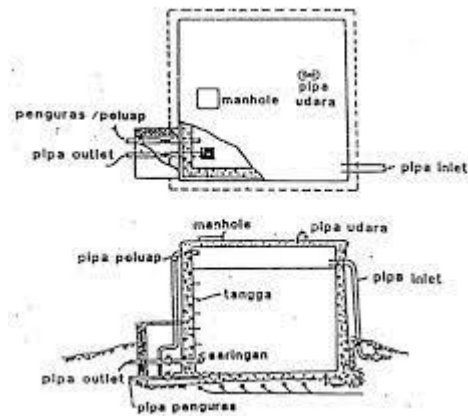


Gambar 2.17 Elevated Reservoir

Sumber : bpsdm.pu.go.id

2. Ground Reservoir

Ground reservoir berfungsi sebagai penampung air bak filtrasi, sebelum masuk ke dalam ground reservoir, air tersebut harus diinjeksi dengan *chlor* yang sudah dilarutkan. *Ground reservoir* dilengkapi dengan *baffle* untuk mencampur dan mengaduk *chlor* dalam air. *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 2.18 Ground Reservoir

Sumber : bpsdm.pu.go.id

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. Untuk dapat merencanakan menara instalasi perlu diperhitungkan terlebih dahulu kebutuhan air untuk instalasi, dengan mengetahui jumlah kebutuhan dan jam-jam pemakaian air untuk instalasi, maka dapat direncanakan dimensi menara instalasi dan ketinggiannya. Adapun kebutuhan air untuk instalasi meliputi antara lain:

- a. Kebutuhan air untuk kantor
- b. Kebutuhan air untuk pelarutan koagulan dan desinfektan
- c. Kebutuhan air untuk filtrasi
- d. Kebutuhan air untuk sedimentasi

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merancang reservoir adalah:

1. Volume *reservoir*

Volume ditentukan berdasarkan tingkat pelayanan dengan memperhatikan fluktuasi pemakaian dalam satu hari di satu kota yang akan dilayani.

2. Tinggi elevasi energi

Elevasi energi *reservoir* harus bisa melayani seluruh jaringan distribusi. Elevasi energi akan menentukan sistem pengaliran dari *reservoir* menuju jaringan distribusi. Bila elevasi energi pada *reservoir* lebih tinggi dari sistem distribusi maka pengaliran dapat dilakukan secara gravitasi. Untuk kondisi sebaliknya, bila elevasi energi *reservoir* lebih rendah dari jaringan distribusi maka pengaliran dapat dilakukan dengan menggunakan pompa.

3. Letak *reservoir*.

Reservoir diusahakan terletak di dekat dengan daerah distribusi. Bila topografi daerah distribusi rata maka *reservoir* dapat diletakkan di tengah - tengah daerah distribusi. Bila topografi naik turun maka *reservoir* diusahakan diletakkan pada daerah tinggi sehingga dapat mengurangi pemakaian pompa dan menghemat biaya.

4. Pemakaian pompa

Jumlah pompa dan waktu pemakaian pompa harus bisa mencukupi kebutuhan pengaliran air.

5. Konstruksi *reservoir*

- Ambang Bebas dan Dasar Bak
- Ambang bebas minimum 30 cm di atas muka air tertinggi
 - Dasar bak minimum 15 cm dari muka air terendah
 - Kemiringan dasar bak adalah ke arah pipa penguras
- Inlet dan Outlet
 - Posisi dan jumlah pipa inlet ditentukan berdasarkan pertimbangan bentuk dan struktur tangki sehingga tidak ada daerah aliran yang mati
 - Pipa outlet dilengkapi dengan saringan dan diletakkan minimum 10 cm di atas lantai atau pada muka air terendah
 - Perlu memperhatikan penempatan pipa yang melalui dinding *reservoir*, harus dapat dipastikan dinding kedap air dan diberi *flexiblejoint*
 - Pipa inlet dan outlet dilengkapi dengan *gate valve*

- Pipa peluap dan penguras memiliki diameter yang mampu mengalirkan debit air maksimum secara gravitasi dan saluran outlet harus terjaga dari kontaminasi luar.

6. Ventilasi dan Manhole

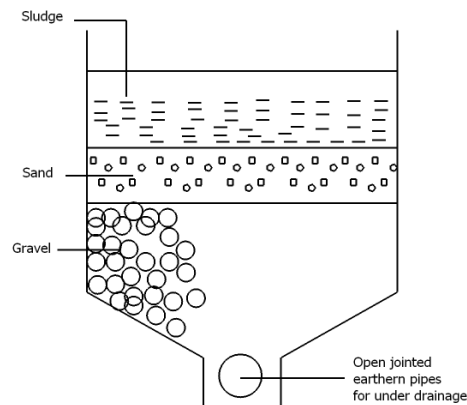
- *Reservoir* dilengkapi dengan ventilasi, *manhole*, dan alat ukur tinggi muka air.
- Tinggi ventilasi ± 50 cm dari atap bagian dalam.
- Ukuran *manhole* harus cukup untuk dimasuki petugas dan kedap air.

2.4.7 Sludge Drying Bed

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

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5 – 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 m. 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 2.19 Sludge Drying Bed

Sumber : sswm.info

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 bangunan *sludge drying bed* setelah sludge mengering. *Sludge* / lumpur yang telah mengering memiliki ciri yaitu memiliki permukaan yang terlihat retak dan mudah hancur serta berwarna hitam atau coklat gelap. Kadar air yang terkandung dalam sludge / lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila *sludge* / lumpur

telah dikeruk menggunakan scrapper atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan. (Metcalf & Eddy., 2003)

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. (Metcalf & Eddy., 2003)

2.5 Profil Hidrolis

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