

BAB 2

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. (Novita, 2013). 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 akan digunakan sebagai air minum adalah air permukaan (air sungai). Air permukaan merupakan air yang berada di permukaan, contohnya sungai, rawa, danau dan mata air. Sebagai sumber air baku untuk air minum, maka air permukaan harus memenuhi kualitas oksigen yang terlarut, pH yang sesuai, kandungan zat padat, kandungan bakteri, kehadiran zat beracun, temperatur 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

Menurut Droste (1997), 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 serta 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

Dalam penyediaan air baku, tentu terdapat beberapa persyaratan yang harus terpenuhi dalam air baku tersebut:

1. Persyaratan Kualitas

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

- a. Dalam persyaratan 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. Dalam 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, CO_2 agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chlorida (Cl), nitrit, flourida (F), dan logam berat.
- c. Dalam 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. Dalam 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)

2.1.4. Karakteristik Air Baku

Dalam air baku yang digunakan yaitu air permukaan (Sungai Waluh) mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut :

1. TSS (Total Suspended Solid)

Padatan tersuspensi atau biasa disebut Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan yang mengandung senyawa organik maupun anorganik yang tersaring oleh kertas saring dengan pori 0,45 μm . kandungan yang ada didalam padatan tersuspensi

umumnya memiliki dampak yang buruk bagi kualitas air karena kurangnya sinar matahari yang masuk kedalam badan air, sehingga mengakibatkan pertumbuhan organisme penting dalam air menjadi terhambat. Materi tersuspensi ini dapat digolongkan menjadi dua, yakni zat padat dan koloid. Zat padat tersuspensi dapat mengendap apabila keadaan air cukup tenang, ataupun mengapung apabila sangat ringan, materi ini pun dapat disaring. Koloid sebaliknya sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan (filter) air biasa. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Tarigan dan Edward, 2003).

2. Total Coliform

Coliform adalah sekelompok bakteri termasuk sekitar 18 spesies bakteri, yang menunjukkan kualitas sanitasi air minum. Secara umum, coliform adalah bakteri non-patogen yang tidak menyebabkan penyakit. Namun, keberadaan coliform dalam air minum memberikan petunjuk bahwa bakteri patogen juga dapat memasuki sumber air minum tertentu bersama dengan kontaminasi limbah. Karena itu, coliform dalam air 6 minum dianggap sebagai bahaya kesehatan yang potensial untuk dikonsumsi manusia. Sampel yang diklasifikasikan sebagai 'absent coliform' tidak mengandung coliform tunggal. Ciri coliform yang paling signifikan adalah kemampuannya untuk memfermentasi laktosa, menghasilkan asam dan gas. Dua jenis coliform adalah fecal coliforms dan non-fecal coliforms. Fermentasi coliform fecal laktosa pada 44° C sedangkan fermentasi coliform non-fecal pada 37° C.

3. TDS (Total Dissolved Solid)

TDS adalah jumlah material yang terlarut di dalam air. Material ini dapat berupa karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik, senyawa koloid dan lain-lain (Howard Guy & Bartram 7 Jamie, 2003). TDS dapat digunakan untuk memperkirakan kualitas air minum, karena mewakili jumlah ion di dalam air. Sebagai contoh adalah air permukaan apabila diamati setelah turun hujan akan mengakibatkan air sungai maupun kolam terlihat keruh yang disebabkan oleh larutnya partikel tersuspensi di dalam air. Sedangkan pada musim kemarau, air terlihat berwarna hijau karena adanya genangan di dalam air. Konsentrasi

kelarutan zat padat ini dalam keadaan normal sangat rendah, sehingga tidak terlihat oleh mata telanjang (Nicola, 2015). Residu dianggap sebagai kandungan total bahan terlarut dan tersuspensi dalam air. Selama penentuan residu ini, sebagian besar bikarbonat yang merupakan ion utama di perairan telah mengalami transformasi menjadi karbondioksida, sehingga karbon dioksida dan gas-gas lain yang menghilang pada saat pemanasan

4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

(BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dan air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol besar daripada kadar bahan organik. Sebaliknya, perairan rawa memiliki kadar bahan organik yang lebih besar daripada kadar bahan anorganik terlarut (Effendi, 2003).

5. COD

COD merupakan oksigen (mg O_2) yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimawi, yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 liter air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat selama 2 jam pada suhu 150°C . COD menjadi angka yang menjadi sumber pencemaran bagi zat-zat organik secara alamiah dan dapat dioksidasi dengan proses mikrobiologis yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang didalam air

2.1.5. Parameter Kualitas Air

Standar kualitas air minum di Indonesia diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomer 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Standar baku mutu kesehatan lingkungan media air minum dituangkan dalam parameter yang menjadi acuan Air Minum aman. Parameter yang dimaksud meliputi parameter fisik, parameter mikrobiologi parameter kimia serta radioaktif. Dalam Peraturan Menteri ini parameter dibagi menjadi dua yaitu parameter khusus dan parameter wajib. Parameter wajib sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum Yang diperbolehkan	Satuan
	Mikrobiologi		
1	Escherichia coli	0	CFU/100 ml
2	Total Coliform	0	CFU/1000 ml
	Fisik		
3	Suhu	Suhu udara +- 3	C
4	Total Dissolve Solid	<300	mg/L
5	Kekeruhan	<3	NTU
6	Warnna	10	TCU
7	Bau	Tidak Berbau	-
	Kimia		
8	pH	6,5 - 8,5	-
9	NO3	20	mg/L
10	NO2	3	mg/L
11	Cr 6+	0,01	mg/L
12	Besi Terlarut	0,2	mg/L

Berikut ini parameter khusus air minum sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Parameter Khusus Air Minum

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	Satuan
1.	Fosfat (fosfat sebagai P)	0,2	mg/L
2.	Amoniak (NH ₃)	1,5	mg/L
3.	Benzene	0,01	mg/L
4.	Tolucn	0.7	mg/L
5.	Aldin	0,00003	mg/L
6.	Dieldrin	0.00005	mg/L
7.	Karbon organik (total / Hidrokarbon polyaromatis (PAH))	0,0007	mg/L
8.	Kalium [K]	NA	mg/L
9.	Parakuat diklorida	NA	mg/L
10.	Aluminium Fosfida	NA	mg/L
11.	Magnesium Fosfida	NA	mg/L
12.	Sulfuril fluorida	NA	mg/L
13.	Metil Bromida	NA	mg/L
14.	Seng Fosfida	NA	mg/L
15.	Dikuat Bromida	NA	mg/L
16.	Etil Format	NA	mg/L
17.	Fosfin	NA	mg/L
18.	Asam Sulfur	NA	mg/L
19.	Formaldehida	NA	mg/L
20.	Metanol	NA	mg/L

2.2. Bangunan Pengolahan Air Minum

2.2.1. Intake dan Screen

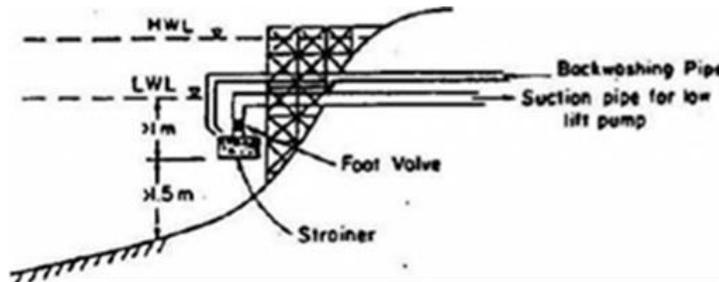
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, intake adalah bangunan penangkap air atau tempat air masuk sungai, danau, situ, atau sumber air lainnya. Kapasitas bangunan intake yang digunakan harus disesuaikan dengan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

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.

Jenis-Jenis Screen terdapat berbagai macam-macam yang diklasifikasikan sesuai dengan kondisi air baku yang akan diolah yaitu sebagai berikut Kawamura (2000)

a. 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.



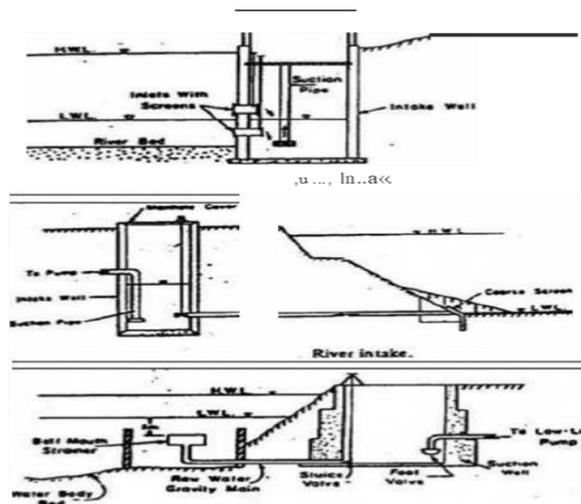
Gambar 2. 1 Direct Intake

Sumber: Kawamurs (2000)

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

1) *River Intake*

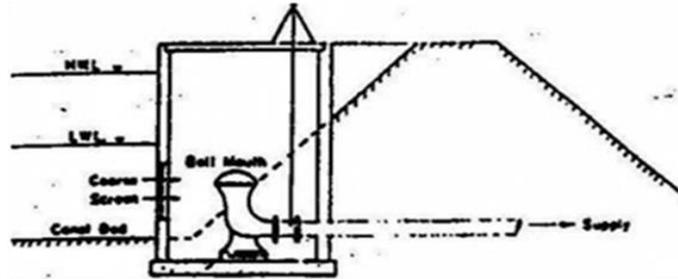
Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Intake ini lebih ekonomis untuk air sungai yang mempunyai perbedaan tingkat muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi.



Gambar 2. 2 River Intake

2) *Canal Intake*

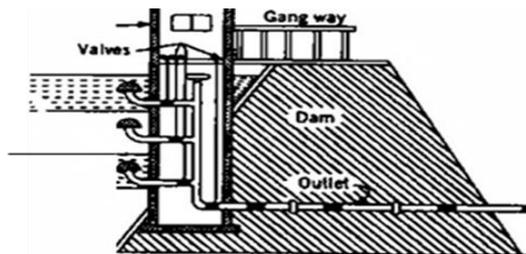
Digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding chamber sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.



Gambar 2. 3 Canal Intake

3) *Reservoir Intake*

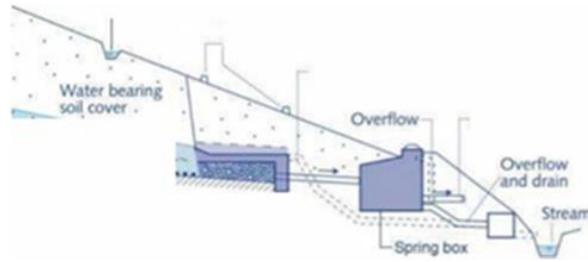
Digunakan untuk air yang berasal dari dan (bendungan) dan dengan mudah menggunakan menara intake, Menara intake dengan dibuat terpisah dan diletakkan di bagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.



Gambar 2. 4 Reservoir Intake

4) *Spring Intake*

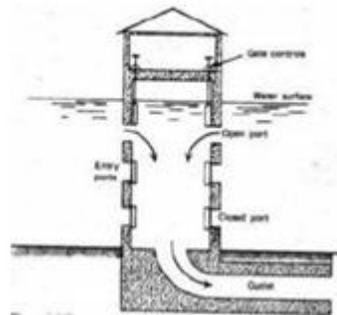
Digunakan untuk air baku dan mata air/air tanah.



Gambar 2. 5 Spring intake

5) *Intake Tower*

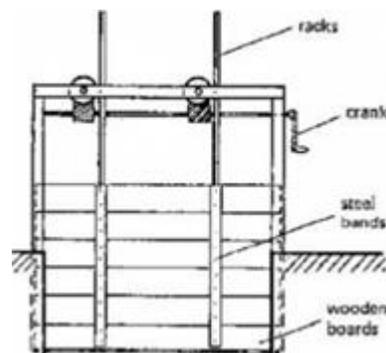
Digunakan untuk air permukaan di mana kedalaman air berada di atas level tertentu.



Gambar 2. 6 Intake Tower

6) *Gate intake/penstock gate*

Berfungsi sebagai air dan menjadi pintu air dari sedimentasi



Gambar 2. 7 Gate intake/penstock gate

Berdasarkan penjelasan diatas maka intake yang digunakan paling sesuai adalah River Intake karena sangat sesuai dengan kondisi di tempat perencanaan. Rumus-

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

1. Mencari debit tiap intake Q

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

Q = debit (m³ /s)

Σ pipa = Jumlah Pipa Intake

2. Mencari Luas Penampang Pipa

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

A = Luas Penampang (m²)

Q = debit (m³ /s)

v = Kecepatan (m/s)

3. Mencari Luas Penampang Pipa Inlet

$$D = \left[\frac{4 \times A}{\pi} \right]^{0.5}$$

D = Diameter Pipa (m)

A = Luas Penampang (m²)

4. Rumus umum kecepatan (v)

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

v = Kecepatan (m/s)

Q = debit (m³ /s)

A = luas penampang (m²)

5. Head Losses Mayor sepanjang Pipa

$$D = \left[\frac{10.67 \times Q^{1.85}}{C^{1.85} \times L} \right] \times L$$

H_f = Headlosses Mayor (m)

Q = debit (m³ /s)

L = Panjang Pipa (m)

C = Koefisien Kekasaran Pipa

D = Diameter Pipa (m)

Tabel 2. 3 Faktor *minor loss*

Bentuk Bar	Nilai
<i>Shape edge rectangular</i>	2,42
<i>Rectangular with semi circular up</i>	1,83
<i>Circular</i>	1,79
<i>Rectangular with ssemi circular up stream and down stream face</i>	1,67
<i>Tear shape</i>	0,76

Sumber: Syed R. Qasim (2000)

Tabel 2. 4 Koefisiens Kekasan pipa

Jenis pipa	Nilai
<i>Extremely smooth and straight pipes</i>	140
<i>New steel or cast iron</i>	130
<i>Wood; concrete</i>	120
<i>New riveted steel; vitrified</i>	110
<i>Old cast iron</i>	100
<i>Very old and corroded cast iron</i>	80

Sumber: Evett & Liu (1987)

Tabel 2. 5 Nilai K untuk Kehilangan energi

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

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

Bar screen dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim et al., 2000). Ada pun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan

halus) dan coarse screen (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1995). Berikut ini adalah kriteria perencanaan screen

Tabel 2. 6 Kriteria Screen

Parameter	U.S. <i>Customary Units</i>		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2-0,6	0,2 -0,6	5-15	5 -15
Kedalaman	1,0- 1,5	1,0 - 1,5	23-38	25-38
Jarak antar batang	1,0-2,0	0,6 -0,3	25-50	15-75
Parameter Lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat=)	30-45	0-30	30-45	0-30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0 m/s
<i>Headloss</i>	6 in	5-24 in	150mm	150-600 mm

Sumber: Metcalf & Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2003

Tabel 2. 7 Persen Removal saringan halus

Jenis screen	Luas permukaan		Persen removal	
	inch	mm	BOD(%)	TSS (%)
<i>Fixed parabolic</i>	0,0625	1,6	5-20	5- 30
<i>Rotary drum</i>	0,01	0,25	25 -50	25 -45

Tabel 2. 8 Klasifikasi screen

Jenis	Permukaan <i>screen</i>		Bahan <i>screen</i>	Penggunaan
	Klasifikasi Ukuran	Range Ukuran		
		inch	mm	
Miring (Diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel Pengolahan Primer
Drum (berputar)	Kasar	0,1-0,2	2,5-5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel. Pengolahan Pendahuluan
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25-2,5	Ayakan kawat yang terbuat dari stainless-steel. Pengolahan Primer

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

- Jumlah Batang Kisi (n)

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

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

- Lebar bukaan screen (wc)

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

- Tinggi Kisi (γ)

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

- Panjang Kisi (P)

$$P = \gamma : \sin \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

- Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

• Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{wc \times h}$$

Keterangan:

Q = debit inlet air limbah

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

• Headloss pada Bar Screen

Saat *non-clogging*

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

Saat *clogging*

$$H_f = \frac{1}{C_c} \times \left(\frac{V_i^2 - V^2}{2 \times g} \right)$$

2.2.2. Bak Pengumpul

Bak pengumpul bertujuan untuk menampung air sementara dan padatan kasar yang mudah mengendap dan terdapat pada aliran air seperti pasir (Metcalf & Eddy, 2003). Selain bertujuan untuk menampung air, bak pengumpul juga berfungsi untuk mengontrol fluktuasi dari aliran air yang akan diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja bak pengumpul ini adalah ketika air yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air dialirkan menuju bak pengumpul. Pada bak pengumpul debit air diatur agar dapat memenuhi kriteria perencanaan pada unit bangunan selanjutnya. Rumus yang digunakan pada unit ini (Fathul Mubhin; Alex B; Fuad Halim, 2016) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Rumus Perhitungan Bak Pengumpul

No	Deskripsi	Rumus	Keterangan
1.	Volume sumur (V)	$V = Q \times t_d$	Q = debit air T _d = waktu detensi
2.	H efektif sumur (H _{ef})	$H_{ef} = H_{\text{pipa}} + H_{\text{lumpur}}$	
3.	Freeboard (Fb)	$Fb = 20\% \times H_{ef}$	
4.	H total	$H_{tot} = H_{ef} + Fb$	Fb = freeboard
5.	Luas penampang sumur (A)	$A = \frac{Volume}{H_{total}}$	H = Headloss
6.	Dimensi sumur pengumpul	$A = L \times W$	A = luas bak L = panjang bak W = lebar bak

2.2.3 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 yaitu sebagai berikut.

1. Penambahan jumlah oksigen
2. Penurunan jumlah carbon dioxide (CO₂) dan
3. Menghilangkan hydrogen sulfide (H₂S), metan (CH₄) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

Jenis-Jenis Metode 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.

- 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.

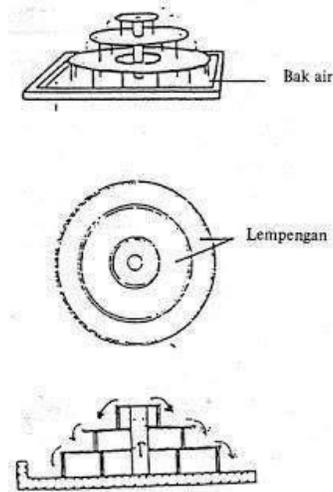
- c. *Submerged Cascade Aerator*

Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung- gelembung udara kedalam air . Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi antara 0,005 dan 05 m³ /det per meter luas.

- d.

Multiple Platform Aerator

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



Gambar 2. 8 Multiple Platform Aerator

e. *Spray Aerator*

Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (*Stationary nozzles*) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik. Spray aerator sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air ke arah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15 -20 mm.

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.

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*).

Tabel 2. 10 Desain dan Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator 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
Spray Aerator	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	Tinggi 1,2-9 m Diameter nozzle: 2,5-4 cm jarak

		nozzle: 0,6-3,6 m Debit nozzle: 5-10 l/det
<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOCs	Luas Bak: 105-320 m ² /m ³ .det tekanan semprotan: 70 kPa
<i>Aerator</i>	Penyisihan	Spesifikasi
		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: 2-5 mm
<i>Aerator Mekanik</i>	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	waktu detensi: 10-30 menit kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

2.2.4 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Dalimunthe, 2007; Shammass & Wang, 2016). Koagulan dibubuhkan ke dalam air yang akan dikoagulasi 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 men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel 2.3 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2. 11 Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium 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
Polyaluminium Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 –7,8
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	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: 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
2. Pengaruh Temperatur
3. Dosis Koagulan
4. Pengadukan (mixing)
5. Pengaruh Garam

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatik. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Pengadukan mekanis memakai energi luar (paddle). Pengadukan hidrolis menggunakan efek gravitasi, sehingga terjadi besaran tinggi terjun atau kehilangan tekanan pada pipa (Joko, 2010). Kecepatan pengadukan merupakan faktor penting dalam koagulasi yang dinyatakan dengan gradien kecepatan. Gradien kecepatan (G) merupakan fungsi dari tenaga (P) yang dapat dilihat dari Persamaan berikut:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}}$$

dimana:

G = Gradien kecepatan (detik-1)

P = Tenaga pengadukan (N.m/detik)

V = Volume air (m³)

μ = Viskositas absolut (N.detik/m²)

Besarnya nilai (G) pada terjunan hidrolis dipengaruhi oleh tinggi terjunan yang dirancang sehingga (hL) merupakan fungsi dari ketinggian terjunan (h), semakin besar nilai hL maka semakin besar pula nilai G. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk mengetahui nilai Gradien dan tinggi jatuhan

$$\text{Gradien} = \sqrt{\frac{g \times hL}{v \times td}}$$

$$\text{Tinggi jatuhan} = \frac{G^2 \times v \times t_d}{g}$$

Keterangan :

g = Kecepatan gravitasi (m/detik²)

hL = Kehilangan tekanan (N.detik/m²)

Td = Waktu detensi (detik)

v = Viskositas kinematik (m²/detik)

Berikut ini kriteria desain untuk unit koagulasi dan flokulasi :

Tabel 2. 12 Kriteria Desain Koagulasi

Keterangan	Masduqi dan Assomadi	Reynolds	Darmasetiawan	Peavy
G (detik ⁻¹)	700-1.000	300-1.000	700-1.000	600-1.000
Td (detik)	20-60	5-60	20-40	10-60
G x td	14.000-60.000	5.000-18.000	20.000-30.000	10.000-36.000

Sumber: Masduqi dan Assomadi, 2012; Reynolds, 1982; Darmasetiawan, 2001; Peavy, 1985

Tabel 2. 13 Kriteria Desain Koagulasi

Kriteria umum	Flokulator hidrolis	Flokulator mekanis		Flokulator clarifier
		Sumbu horizontal dengan pedal	Sumbu vertikal dengan bilah	
G (gradien kecepatan) 1/detik	60 (menurun) – 5	60 (menurun) – 10	70 (menurun) – 10	100–10
Waktu tinggal (menit)	30–45	30–40	20–40	20–100
Tahap flokulasi (buah)	6–10	3–6	2–4	1
Pengendalian energi	Bukaan pintu/ sekat	Kecepatan putaran	Kecepatan putaran	Kecepatan aliran air
Kecepatan aliran maksimum (m/detik)	0,9	0,9	1,8–2,7	1,5–0,5
Luas bilah/pedal dibandingkan luas bak (%)	-	5–20	0,1–0,2	-
Kecepatan perputaran sumbu (rpm)	-	1–5	8–25	-
Tinggi (m)	-	-	-	2–4 *

Berikut ini rumus perhitungan yang digunakan dalam perencanaan flokulasi

Tabel 2. 14 Rumus Perhitungan Flokulasi

Rumus	Keterangan
$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$	D = Diameter pipa A = Luas pipa $\Pi = 3.14$
$h_f = \frac{L}{(0,00155 \times C \times D^2)^{1,85}} \times Q^{1,85}$	Hf = Headloss L = Panjang pipa D = Diameter pipa C = Koefisien kekasaran pipa Q = Debit pipa

Panjang sisi	$= \sqrt{\frac{2}{3} \frac{V}{\sqrt{3}H}}$	V = Volume H = Tinggi bangunan
Hf	$= \frac{G^2 \times v \times t_d}{g}$	G = Gradien Hf = Headloss Td = Waktu detensi g = gravitasi v = viskositas

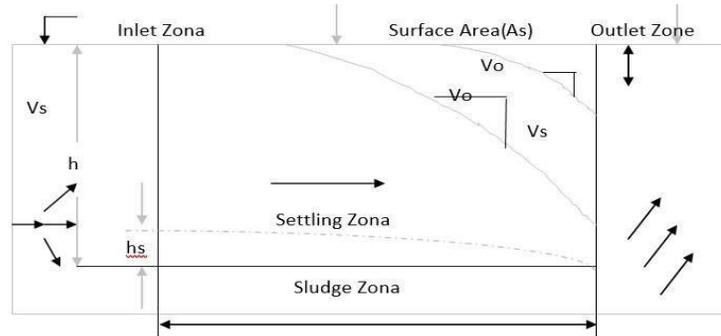
2.2.5 Sedimentasi

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 sedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan chlorine.
- Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.
- Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas.

Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi 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) dan pengendapan Tipe IV (Compression Settling). Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona : Zona Inlet, Zona Outlet, Zona Settling, dan Zona Sludge

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



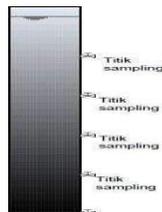
Gambar 2. 9. Zona Pada Bak Sedimentasi

(Sumber : Al Layla, Water Supply Engineering Design)

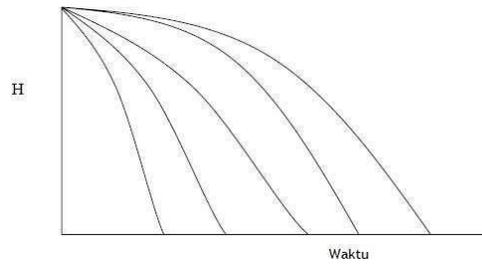
Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut :

- 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.

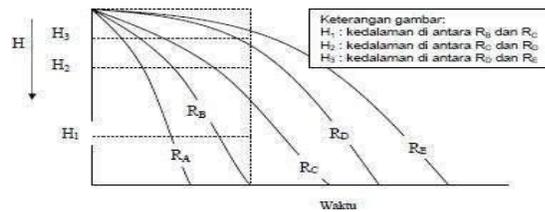


Gambar 2. 10 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2. 11 Grafik Isoremoval

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



Gambar 2. 12 Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

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

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

Berikut ini adalah kriteria desain unit sedimentasi rectangular

Tabel 2. 15 Kriteria Desain Unit Sedimentasi

Kriteria Umum	Bak Persegi (aliran horizontal)	Bak Persegi Aliran Vertikal (menggunakan pelat/tabung pengendap)	Bak Bundar (aliran vertical-radial)	Bak Bundar (kontak padatan)	Clarifier
Sirkulasi lumpur	-	-	-	3-5 % input	-
Kemiringan dasar bak (tanpa <i>scraper</i>)	45° - 60°	45° - 60°	45° - 60°	>60°	45° - 60°
Periode antar pengurasan lumpur (jam)	12 - 24	8 - 24	12 - 24	Kontinyu	12 - 24 ***)
Kemiringan <i>tube/plate</i>	30° / 60°	30° / 60°	30° / 60°	30° / 60°	30° / 60°

Kriteria Umum	Bak Persegi (aliran horizontal)	Bak Persegi Aliran Vertikal (menggunakan pelat/tabung pengendap)	Bak Bundar (aliran vertical-radial)	Bak Bundar (kontak padatan)	Clarifier
Beban permukaan (m ³ /m ² .jam)	0,8 - 2,5	3,8 - 7,5	1,3 - 1,9	2 - 3	0,5 - 1,5
Kedalaman (m)	3 - 6	3 - 6	3 - 5	3 - 6	0,5 - 1,0
Waktu retensi (jam)	1,5 - 3	0,07 ***)	1 - 3	1 - 2	2 - 2,5
Lebar / panjang (m)	> 1/5	-	-	-	-

Beban pelimpah (m ³ /m.jam)	<11	<11	3,8 - 15	7 - 15	7,2 - 10
Bilangan Reynold	<2000	<2000	-	-	<2000
Kecepatan pada pelat/tabung pengendap (m/menit)	-	Max 0,15	-	-	-
Bilangan Froude	>10 ⁻⁵	>10 ⁻⁵	-	-	>10 ⁻⁵
Kecepatan vertical (cm/menit)	-	-	-	<1	<1

Rumus yang digunakan sebagai berikut

Tabel 2. 16 Tabel Rumus Perhitungan Sedimentasi

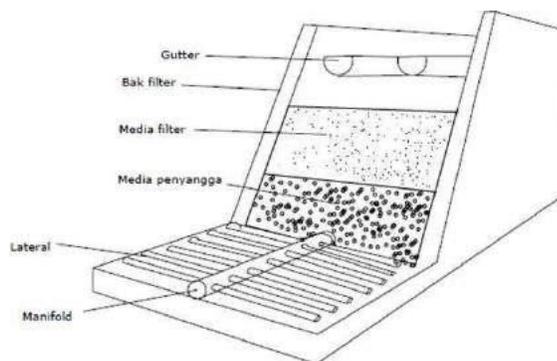
Rumus	Keterangan
$A = \frac{Q}{\text{over flow Rate}}$	A = Luas permukaan (m ²) Q = Debit limbah (m ³ /s)
$v_s = \frac{H}{T_d}$	Td = waktu detensi (s) Vs = kecepatan pengendapan (m ² /s) H = kedalaman (m)
$v_h = \frac{L}{T_d}$	Vh = Kecepatan horizontal (m ² /s) L = panjang pipa (m) Td = waktu detensi (s)
$R = \frac{(W \times H)}{(W + 2H)}$	R = jari-jari hidrolis (m) W = lebar (m)

		H = kedalaman (m)
DP	$= \sqrt{\frac{V_s \times \vartheta \times 18}{g \times (S_s - 1)}}$	<p>Dp = diameter partikel (m)</p> <p>ϑ = kinematic viscosity (m^2/s)</p> <p>g = percepatan gravitasi (m^2/s)</p> <p>Vs = Kecepatan pengendapan (m^2/s)</p> <p>Ss = specific Gravity suspended solid</p>
NRe	$= \frac{v_h \times R}{\vartheta}$	<p>NRe = Bilangan Reynolds</p> <p>Vh = Kecepatan horizontal (m^2/s)</p> <p>R = jari-jari hidrolis (m)</p> <p>ϑ = kinematic viscosity (m^2/s)</p>
NFr	$= \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$	<p>NFr = Bilangan Freud</p> <p>Vh = Kecepatan horizontal (m^2/s)</p> <p>g = percepatan gravitasi (m^2/s)</p> <p>H = Kedalaman (m)</p>
Vsc	$= \left[\left(\frac{8 \times \beta}{\lambda} \right) \times (S_s - 1) \times g \times D_p \right]^{1/2}$	<p>Vsc = Kecepatan Scouring (m^2/s)</p> <p>Ss = specific Gravity suspended solid</p> <p>g = percepatan gravitasi (m^2/s)</p>

	$D_p = \text{diameter partikel (m)}$
$S_{\text{bak}} = 1\% \times L_{\text{bak}}$	$S_{\text{bak}} = \text{Slope bak (m/m)}$ $L = \text{panjang bak (m)}$
$H_f = \left(\frac{v_h \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L$	$H_f = \text{Kehilangan tekanan pipa (m)}$ $V_h = \text{Kecepatan horizontal (m}^2/\text{s)}$ $n = \text{koefisien kekasaran manning}$ $R = \text{jari-jari hidrolis (m)}$ $L = \text{panjang bak (m)}$

2.2.6 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.



Gambar 2. 13 Bagian-Bagian Filter

(Sumber : Reynold/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/m².hr (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 m³/m².hr). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45-0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses backwash pada rapid sand filter berbeda dengan slow sand filter. Pada rapid sand filters waktu backwash ditentukan dari head loss filter saat itu. Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrazit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan.

Effective Size (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10. % dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari rasio ukuran rata – rata dan standar deviasi nya.

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

Kriteria untuk keperluan rapid sand filter adalah:

Singel 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 & Assomadi, 2012:171). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 2. 17 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian AntarSaringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 – 11	6 – 11
2	Pencucian: 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 Lapisan penyangga dari atas ke		

bawah		
Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80 – 100 2 – 5	80 – 100 2 – 5
Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80 – 100 5 – 10	80 – 100 5 – 10
Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80 – 100	80 – 100
Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	10 – 15	10 – 15
Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80 – 150	80 – 150
Filter Nozzle	15 – 30	15 – 30

(sumber : SNI 6774-2008)

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 & Assomadi, 2012:176). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 2. 18 Kriteria Perencanaan 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
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasardan 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 permukaandan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2 – 0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah

(Sumber: Schulz & Okun (1984))

3. Filter Bertekanan

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

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 (head loss) 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.

2.2.7 Desinfeksi

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

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

gas iod, ozon dan Kalium Permanganat. Kemampuan desinfeksi dalam pengolahan air minum adalah :

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

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

1. Desinfeksi dengan Ozon

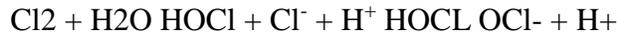
Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600 – 3000 lebih kuat dari klorin. Penggunaannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O₂ berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi akan menghasilkan lompatan electron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Jika elektroda mencapai kecepatan cukup, maka akan menyebabkan molekul oksigen splitting ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom ini akan bergabung membentuk O₃ (ozon).

2. Desinfeksi dengan UV

Dapat terjadi dengan interaksi langsung menggunakan sinar UV dan tidak langsung menggunakan zat pengoksidasi. Biasanya sinar UV yang digunakan mampu mematikan semua mikroorganisme. Daerah yang berperan dalam efek garmicial adalah UV-AC, dengan panjang gelombang 280-220 nm.

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

Metode ini menggunakan bahan kimia yang dicampurkan daam air kemudia diberikan waktu yang cukup agar memberi kesempatan kepada zat untuk berkontak dengan bakteri. Desinfeksi air minum yang sering dilakukan yaitu dengan memanfaatkan klorin. Reaksi yang terjadi pada pembubuhan klorin yaitu :



4. Desinfeksi dengan gas klor

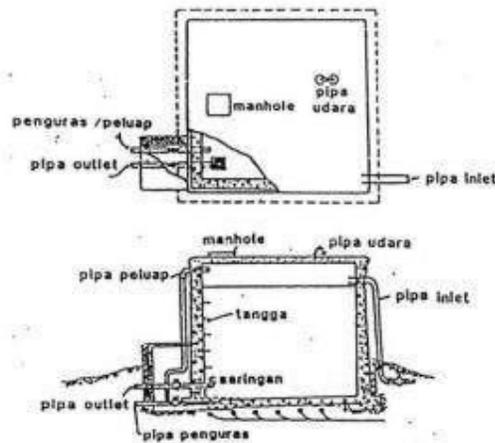
Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8-8,3 oksidasi besi membutuhkan waktu 15-30 menit. Pada umumnya proses standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisa klor yang dianjurkan 0,2-0,5 mg/l (Fatimah, et al., 2007). Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl_2) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit (Sawyer et al., 1978).

2.2.8 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya Reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari Reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengan debit pemakaian air. Pada saat jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam Reservoir, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air. Berdasarkan tinggi relative reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Reservoir Permukaan (Ground Reservoir)

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



Gambar 2. 14 Reservoir Permukaan

2. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)

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



Gambar 2. 15 Reservoir Menara

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksinya, maka jenis Reservoir dapat dibagi menjadi 4 yaitu :

1. Reservoir Tanki Baja

Banyak reservoir menara dan “standpipe” atau Reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “Cathodic Protection”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.



Gambar 2. 16 Reservoir Tangki Baja

2. Reservoir Beton Cor

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



Gambar 2. 17 Reservoir Beton Cor

3. Reservoir Fiberglass

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



Gambar 2. 18 Reservoar Fiberglass

2.2.9 Sludge Thickener

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

Kriteria Rumus (Sludge Thickener) yang digunakan:

- Perbandingan volume lumpur dengan konsentrasi diharapkan adalah :

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

dengan:

V_1 = volume lumpur yang masuk

V_2 = volume lumpur yang terjadi

C_1 = konsentrasi lumpur masuk

C_2 = konsentrasi lumpur yang diharapkan

- Perbandingan berat jenis lumpur:

$$\frac{1}{B_{jSS}} = \frac{P_f}{B_{jf}} + \frac{P_v}{B_{jv}}$$

Dengan:

Bj SS = berat jenis suspended solid

Bj f = berat jenis fixed

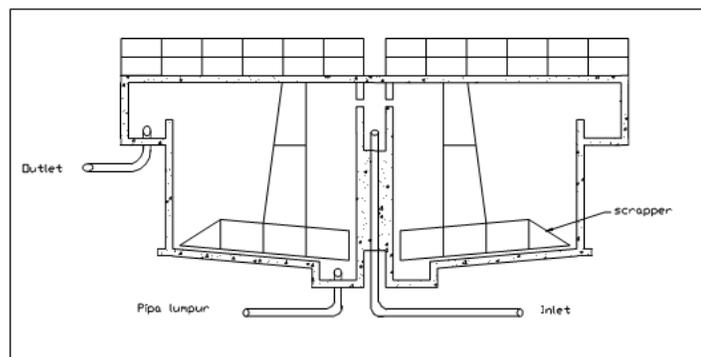
Bj v = berat jenis volatile SS

Pv = % volatile matter

Pf = % fixed matter

- Luas permukaan thickener (A_s) dapat dihitung dengan :

$$A_s = \frac{\text{Berat kering} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{\text{Solid Loading} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \right)}$$



Gambar 2. 19 Sludge Thickener

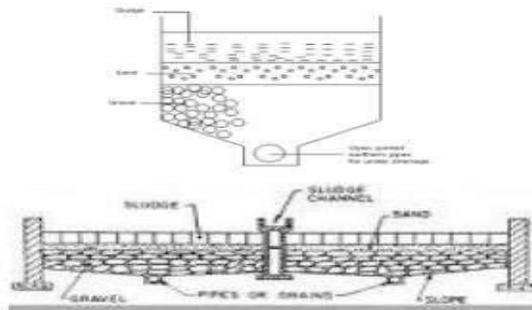
(Sumber: Metcalf and Eddy, Waste Water Engineering Treatment Disposal and Reuse, hal 401)

2.2.10 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. 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. 20 Sludge Drying Bed

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

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). Daya tampung sludge drying bed dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan sludge / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{tahun}$). Data tipikal untuk variasi sludge / lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini.

Tabel 2. 18 Kriteria Kebutuhan Luas Lahan SDB Berdasarkan Tipe Tanah Solid

Tipe <i>Biosolid</i>	Luas Lahan*		Sludge Loading Rate	
	$\text{ft}^2/\text{person}$	$\text{km}^2/\text{person}$	lb lumpur kering/ $\text{ft}^2 \cdot \text{tahun}$	kg lumpur kering/ $\text{m}^2 \cdot \text{tahun}$
<i>Primary Digested</i>	1-1,5	0,1	25-30	120-150
Humus <i>Trickling Filter</i>	1,25-1,75	0,12-0,16	18-25	90-120
Lumpur <i>Activated Sludge</i>	1,75-2,5	0,16-0,23	12-20	60-100
Lumpur Presipitasi Kimia	2-2,5	0,19-0,23	20-33	100-160

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

*Berdasarkan kebutuhan luas lahan untuk memenuhi variasi antara 70-75% Sludge Drying Bed terbuka.

2.3 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (head loss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bab masing-masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini. Profil Hidrolis IPAL adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydraulic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

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

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram

2. Tinggi muka air

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

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