

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

Air baku merupakan air yang berasal dari berbagai sumber perairan yang diolah menjadi air minum setelah memenuhi standar baku mutu. Berdasarkan sumbernya, air baku untuk air minum berasal dari :

1. Air Tanah

Merupakan air yang menempati rongga-rongga lapisan geologi, yaitu lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan tanah dengan lajur tidak jenuh yang berada di atas lajur jenuh sampai ke permukaan tanah (Soemarto, 1989). Kandungan unsur kimia air tanah sesuai dengan sistem aliran tanah, antara lain sistem lokal. Sistem antara, dan sistem regional. Unsur kimia yang mendominasi sistem lokal dan antara terdiri dari Mg, Ca, HCO₃. Sedangkan pada sistem regional antara lain Cl, Na, dan hilangnya unsur O₂ serta CO₂. Manfaat air tanah antara lain :

- Sebagai bagian dari daur air
- Memenuhi berbagai keperluan rumah tangga
- Memenuhi kebutuhan industri

2. Air Permukaan

Merupakan air yang terkumpul di atas tanah, danau, rawa sungai, atau laut. Air permukaan terisi melalui presipitasi dan berkurang melalui penguapan. Air permukaan merupakan air yang berasal dari air hujan yang jatuh ke tanah dan kemudian sebagian airnya mengalir ke perairan (Soegianto, 2005). Terdapat dua jenis air permukaan, yaitu perairan darat dan perairan laut. Perairan darat merupakan air permukaan yang berada di atas daratan. Sedangkan perairan laut merupakan air permukaan yang berada di lautan. Pada umumnya, air permukaan mendapat pengotoran selama mengalir, berikut karakteristik air permukaan :

- Memiliki tingkat kekeruhan yang rendah atau tinggi
- Memiliki kandungan warna sedang sampai tinggi

- Memiliki kesadahan yang tinggi
- Memiliki tingkat kekeruhan yang bersifat temporer

3. Mata Air

Merupakan tempat air tanah muncul di permukaan. Mata air memiliki karakteristik antara lain :

- Memiliki kekeruhan yang rendah dan tidak mengandung zat kimia berbahaya
- Memiliki kandungan oksigen yang cukup tinggi, segar, dan jernih
- Terdapat mata air yang sudah memenuhi persyaratan bakteriologis sehingga dapat langsung diminum

Pada umumnya kapaistasnya kecil

4. Air Hujan

Merupakan air hasil penyublimnan awan/uap air menjadi air murni saat turun dan melalui benda-benda yang terdapat di udara, antara lain gas

O₂ , CO₂, N₂, dan zat renik. Berikut karakteristik air hujan :

- Air hujan sangat bersih pada keadaan murni
- Air hujan yang telah mencapai permukaan tanah tidak murni lagi karena mendapat pengotoran selama turun ke permukaan tanah

Air baku tersebut memiliki beberapa karakteristik disebabkan oleh berbagai parameter karakteristik antara lain :

- TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS merupakan padatan tersuspensi di dalam perairan. TSS terknadung pada lumpur, tanah liat, logam sulfida, bakteri, jamur, ganggang, dan bahan organik lainnya. TSS dibedakan menjadi dua, yaitu zat padat dan koloid. Zat padat dapat mengendap apabila air cukup tenang dan mengapung apabila sangat ringan, serta dapat disaring. Sedangkan koloid sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan saringan biasa.

- pH (Derajat keasaman)

pH merupakan derajat keasaman atau kebasaaan suatu perairan. Suatu perairan netral memiliki pH dengan range 6-9. Perubahan pH dapat menyebabkan perubahan bau, rasa, dan warna. Kenaikan pH pada perairan

dapat menurunkan konsentrasi CO₂ terutama siang hari saat berlangsungnya proses fotosintesis. Air yang memiliki pH ekstrim sulit diolah secara biologis. Pengukuran pH ideal dilakukan secara langsung di lapangan atau saat pengambilan sampel. pH dapat diukur dengan alat pH meter dan kertas pH serta indikator warna pH sebagai patokan (Metcalf & Eddy, 2003).

- BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan kebutuhan oksigen menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dalam kondisi aerob. Bahan organik yang terurai dalam BOD merupakan bahan organik yang siap terdekomposisi.

- DO (*Dissolved Oxygen*)

DO merupakan jumlah oksigen terlarut yang berasal dari fotosintesis, absorpsi atmosfer, atau udara di dalam perairan. Semakin tinggi kadar DO, maka kualitas air semakin baik, sebaliknya apabila kadar DO terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap karena degradasi anaerobik yang mungkin terjadi.

- COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD merupakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan agar limbah yang ada di dalam air dapat teroksidasi secara kimiawi. Kadar COD yang rendah dalam air limbah linear dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah.

- Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan salah satu parameter kimia yang belum tertangani dengan baik (Ibrahim *et al.*, 2023). Berat jenis yang dimiliki minyak dan lemak lebih kecil dari air, sehingga apabila tidak dipisahkan dari air limbah dapat membentuk lapisan di permukaan (Mellynawaty *et al.*, 2018).

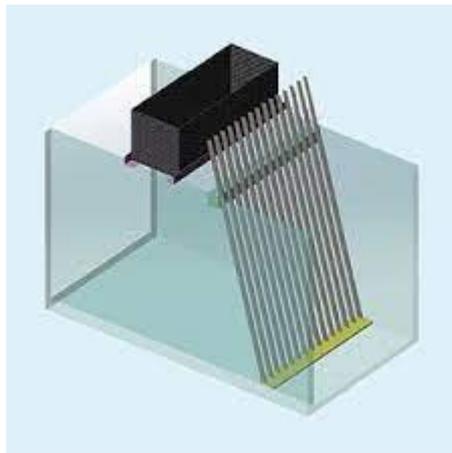
- Kekeruhan

Kekeruhan merupakan tingkat pengukuran transparansi relatif suatu cairan. Pada air minum, semakin tinggi tingkat kekeruhan pada air, maka semakin besar kemungkinan terjadinya penyakit saluran pencernaan pada konsumen.

2.2 Bangunan Pengolahan Air Minum

2.2.1 Bar Screen

Bar screen merupakan unit pengolahan fisika dalam pengolahan air minum. Saringan sebagai pengolahan awal digunakan untuk memisahkan berbagai macam benda padat berukuran cukup besar yang terdapat di dalam air baku, seperti plastik, kayu/ranting, plastik, dan benda padat lainnya. Saringan pada bar screen dibedakan menjadi dua jenis, yaitu saringan kasar (*coarse screen*) dan saringan halus (*fine screen*). Menurut Metcalf & Eddy (2004), pada umumnya saringan kasar berukuran 6-150 mm. Saringan kasar berfungsi untuk menyaring benda padat dengan ukuran yang lebih besar. Sebaliknya, saringan halus berukuran kurang dari 6 mm. Saringan halus dibentuk dari saringan kain atau plat berpori yang berfungsi untuk menyaring pencemar yang memiliki ukuran lebih kecil.



Gambar 2. 1 Bar Screen

(Sumber: <https://seftgroup.com/en/manual-bar-screen-customized-mechanical-equipment-sewage-wastewater-treatment-plants>)

Bagian bar screen yaitu batang baja yang dilas pada kedua ujungnya terhadap dua batang baja horizontal. Berikut beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan bar screen :

- Ukuran bar
- Jarak antar bar
- Kecepatan atau kapasitas rencana
- Headloss
- Sudut inklinasi (Said, 2017)

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Bar Screen

No.	Kriteria Perencanaan	Nilai	Satuan
1	Tipe Screen	Coarse Screen	
2	Slope	45 - 60	Derajat
3	Tinggi Screen	Diameter pipa inlet	m
4	Jarak antar kisi (r)	25 - 75	mm
5	Diameter kisi (d)	0,25 - 5	inch
6	Kemiringan kisi	30 - 45	Derajat
7	Lebar Batang	4 - 8	mm
8	Tebal Batang	25 - 50	mm
9	Faktor bentuk kisi	1,79	-
10	Headloss	< 150	mm
11	Kecepatan aliran melalui kisi (v)	kecepatan pipa	

(Sumber: Syed. R. Qasim., 1998)

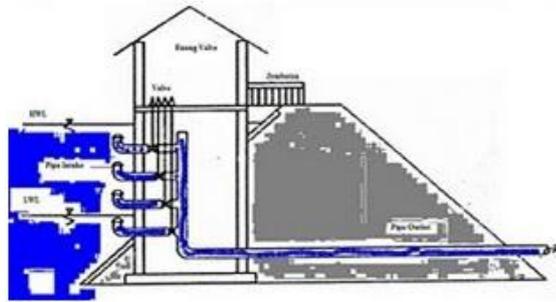
2.2.2 Intake

Dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, intake merupakan bangunan penangkap air atau tempat air masuk sungai, danau, situ, atau sumber air lainnya. Bangunan intake yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan. Berikut persyaratan lokasi penempatan intake :

- Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
- Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);
- Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa, dan gaya angkat air (up-lift);
- Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya;
- Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian;
- Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air;
- Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku;
- Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun;
- Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar. Intake dibedakan menjadi 4, antara lain :

1. Reservoir Intake

Merupakan intake yang terletak pada bagian pelimpahan di dekat sisi bendungan. Pondasi menara terpisah dari bendungan dan dibangun di bagian hulu. Terdapat beberapa inlet yang terletak pada ketinggian bervariasi di menara untuk mengantisipasi fluktuasi.

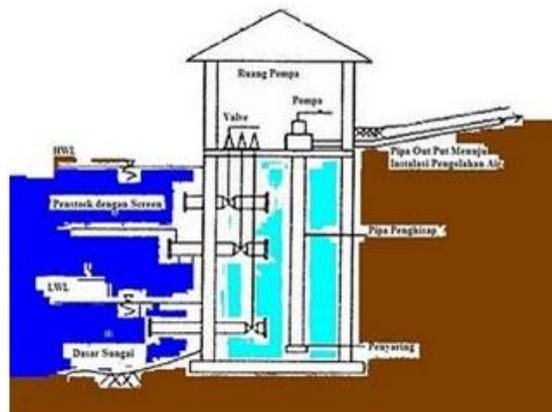


Gambar 2. 2 Reservoir Intake

(Sumber: https://aladintirta.blogspot.com/2011/03/bangunan-penangkap-sumber-sumber-air_30.html?m=1)

2. River Intake

Merupakan intake yang terdiri dari sumur beton dilengkapi dengan beberapa pipa besar yang disebut dengan *penstock*. Pipa-pipa tersebut dilengkapi dengan katup agar air dapat memaski intake secara berkala. Air yang telah terkumpul dalam sumur kemudian dipompa dan dialirkan ke dalam instalasi pengolahan. River intake terletak di bagian hulu kota untuk menghindari pencemaran dari air buangan.



Gambar 2. 3 River Intake

(Sumber: https://aladintirta.blogspot.com/2011/03/bangunan-penangkap-sumber-sumber-air_30.html?m=1)

3. Canal Intake

Merupakan intake yang terdiri dari sumur beton dilengkapi dengan pipa bell-mouthed yang terpasang menghadap ke atas. Saringan halus pada

bagian atas canal intake berfungsi untuk mencegah masuknya ikan-ikan kecil dan benda terapung. Ruangannya dilapisi dengan saringan dari kerikil.



Gambar 2. 4 Canal Intake

(Sumber: <https://123dok.com/article/lokasi-intake-tinjauan-sumber-pengembangan-perencanaan-teknis-pengolaha.y91lp4dq>)

4. Lake Intake

Merupakan intake yang terdiri dari satu atau lebih pipa bell-mouthed yang dipasang di dasar danau. Terdapat saringan yang berfungsi untuk menutup *bell-mouthed* dan jembatan yang menghubungkan pipa dari danau menuju tempat pengolahan air sebagai penyangga pipa.



Gambar 2. 5 Lake Intake

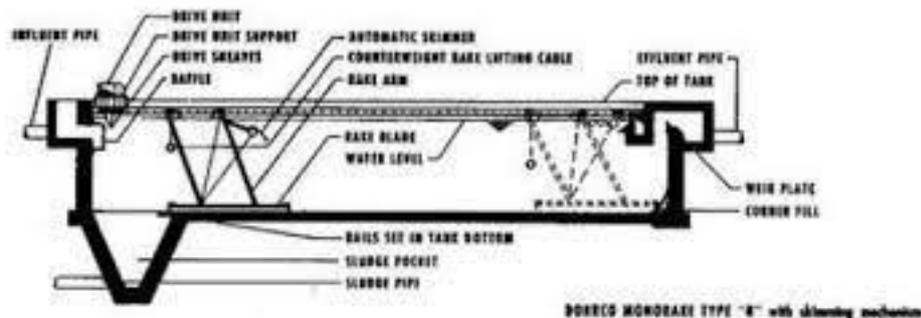
(Sumber: https://aladintirta.blogspot.com/2011/03/bangunan-penangkap-sumber-sumber-air_30.html?m=1)

2.2.3 Prasedimentasi

Prasedimentasi merupakan unit pengolahan air yang digunakan untuk menghilangkan diskrit sebelum dialirkan ke unit pengolahan

selanjutnya. Unit prasedimentasi memiliki bentuk *rectangular* dan *circular*. Terdapat empat zona dalam unit prasedimentasi, antara lain zona inlet, zona penengdapan, zona lumpur, dan zona outlet antara lain :

1. Zona Inlet. Merupakan tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminar).
2. Zona Pengendap. Merupakan tempat mengendapkan/memisahkan partikel diskrit di dalam air baku.
3. Zona Lumpur. Merupakan tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.
4. Zona Outlet. Merupakan tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran effluen dan mengatur debit effluen.



Gambar 2. 6 Bangunan Prasedimentasi

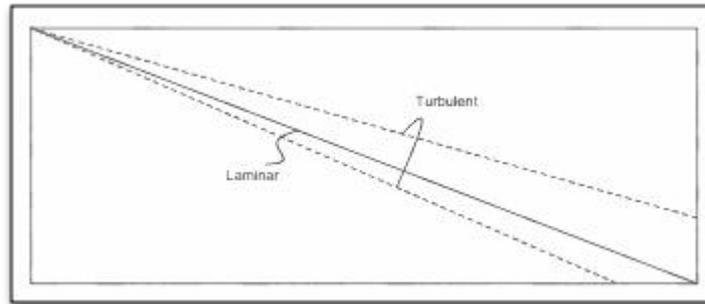
(Sumber: Huisman, 1977)

Terdapat Bilangan Reynolds dan Bilangan Froude pada perancangan unit prasedimentasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan antara lain overflow rate, horizontal, bilangan Reynold, dan karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996).

A. Bilangan Reynolds

Merupakan bilangan yang menunjukkan korelasi fungsi yaitu kondisi aliran pada unit prasedimentasi apakah laminar atau turbulen. Kondisi aliran sebaiknya laminar, karena aliran turbulen dapat menurunkan efisiensi kerja unit prasedimentasi. Oleh karena itu, sesuai dengan SNI 6774 Tahun 2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket

Instalasi Pengolahan air, nilai Bilangan Reynolds harus kurang dari 2000. Berikut pengaruh jenis aliran terhadap proses pengendapan.



Gambar 2. 7 Pengaruh Jenis Aliran terhadap Pengendapan

(Sumber: Huisman, 1977)

B. Bilangan Froude

Merupakan bilangan yang terkait dengan kondisi aliran apakah subkritis, kritis, atau superkritis. Aliran pendek terjadi apabila kecepatan aliran cukup besar, sehingga sebaiknya kecepatan aliran unit prasedimentasi tidak terlalu besar atau dalam keadaan subkritis. Oleh karena itu, unit prasedimentasi harus dirancang sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan, yaitu SNI 6774 Tahun 2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air, nilai bilangan Froude harus lebih dari 10^{-5} .

Terdapat beberapa kriteria yang perlu diketahui dalam merancang unit prasedimentasi, antara lain *detention time*, *overflow rate*, *average flow*, *peak hourly flow*, dan *weir loading*. Berikut kriteria perencanaan unit prasedimentasi:

Tabel 2. 2 Kriteria Desain Unit Prasedimentasi

Item	U.S. customary units			SI Units		
	Unit	Range	Typical	Unit	Rang e	Typical
Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment						
Detention time	h	1,5 - 2,5	2	h	1,5 - 2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft ² .d	800-11200	1000	m ³ /m ² .d	30-50	40
Peak hourly	gal/ft ² .d	2000-3000	2500	m ³ /m ² .d	80-120	100
Weir loading	gal/ft ² .d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250
Peak hourly flow	gal/ft ² .d	2000-3000	2500	m ³ /m ² .d	80-120	100
Weir loading	gal/ft ² .d	10.40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250
Primary settling with waste activated-sludge return						
Detention time	h	1,5-2,5	2	h	1,5-2,5	2
Overflow rate						
Average flow	gal/ft ² .d	600-800	700	m ³ /m ² .d	24-32	28
Peak hourly flow	gal/ft ² .d	1200-1700	1500	m ³ /m ² .d	48-70	60
Weir loading	gal/ft ² .d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250

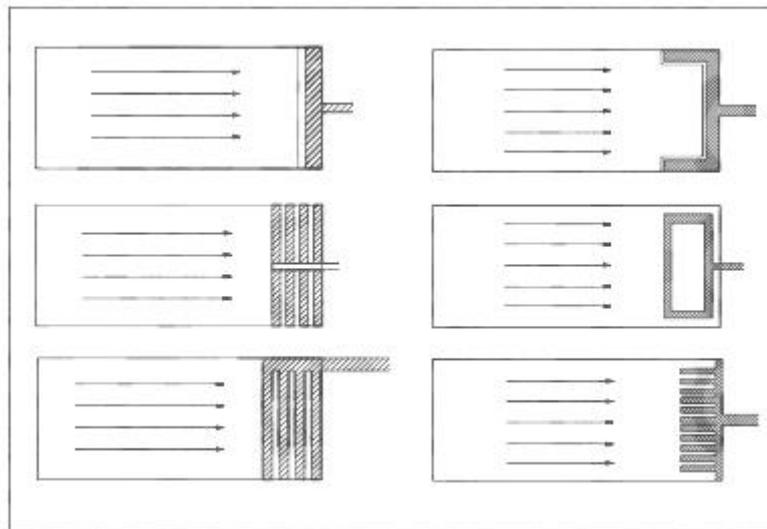
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Zona outlet terdiri dari pelimpah yang dirancang untuk mengurangi kemungkinan terjadi aliran pendek. *Weir loading rate* merupakan beban pelimpah (debit) yang ditanggung per satuan waktu dan panjangnya.

Tabel 2. 3 Weir Loading Rate

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

Dalam merancang *weir loading rate*, pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun apabila hanya terdapat satu pelimpah, maka weir loading rate akan menjadi besar. Berikut gambar susunan pelimpah pada outlet (Qasim, 1985):



Gambar 2. 8 Susunan Pelimpah pada Zona Outlet

(Sumber: Qasim, 1985)

2.2.4 Aerasi

Aerasi memanfaatkan kontak dengan udara dalam pengolahan air. Penambahan oksigen dilakukan untuk mengurangi suatu parameter yang berlebihan di dalam air. Terdapat dua cara penambahan oksigen ke dalam air, antara lain menambahkan udara ke dalam air dan memaksa air ke atas agar terjadi kontak dengan oksigen. Di dalam proses aerasi terdapat oksigen yang ada di udara bereaksi dengan senyawa pencemar terlarut menjadi tidak larut. Waktu yang diperlukan dalam mengoksidasi senyawa besi di dalam air tidak selalu terjadi dengan cepat (Sutrisno, 1987). Terdapat beberapa tujuan dari pengolahan air aerasi, antara lain :

Penambahan jumlah oksigen

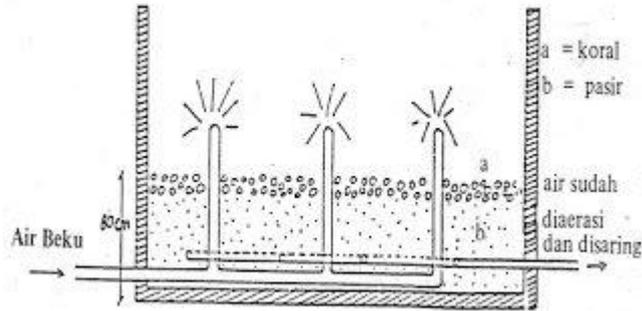
1. Penurunan jumlah Karbon Dioksida (CO_2)
2. Menghilangkan Hidrogen Sulfida (H_2S), Methan (CH_4), dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile dan berkaitan dengan rasa serta bau. Secara luas, aerasi digunakan untuk mengurangi kandungan besi dan mangan yang terlalu tinggi di dalam air. Pada pengurangan besi dan mangan, udara akan bereaksi dengan senyawa ferus dan manganous terlarut yang kemudian berubah menjadi ferri dan manganic oxide hydrate yang tidak larut. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan pengendapan (sedimentasi) atau peyaringan (filtrasi).

Dalam melakukan penambahan oksigen tersebut diperlukan alat yang dinamakan aerator. Prinsip kerja aerator yaitu menambahkan oksigen terlarut di dalam air tersebut untuk memperbesar permukaan kontak antara air dengan udara. Terdapat berbagai aerator antara lain:

1. Spray Aerator

Merupakan aerator yang terdiri dari nozel penyemprot yang tidak bergerak dihubungkan dengan kisi lempangan yang mana air disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m/s. Spray aerator sederhana bekerja dengan cara pengeluaran air ke arah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm, piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter di bawah setiap ujung pipa,

sehingga berbentuk selaput air tipis melingkar yang kemudian menyebar menjadi tetesan-tetesan halus. Spray aerator memerlukan lebih sedikit ruang dibandingkan dengan cascade aerator.

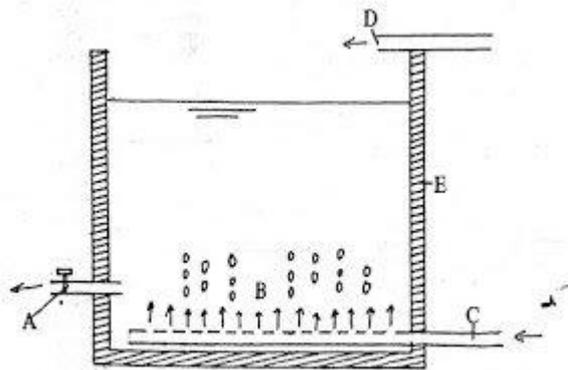


Gambar 2. 9 Spray Aerator

(Sumber: Rahmawati, 2010)

2. Bubble Aerator

Merupakan aerator yang bekerja dengan cara menyemprotkan udara berupa gelembung-gelembung dari dasar bak. Jumlah udara yang diperlukan bubble aerator tidak lebih dari $0,3-0,5 \text{ m}^3 \text{ udara/m}^3 \text{ air}$. Volume tersebut dengan mudah bisa dinaikkan melalui suatu penyedotan udara.



Gambar 2. 10 Bubble Aerator

(Sumber: Rahmawati, 2010)

Keterangan:

A : Outlet

B : Gelembung udara

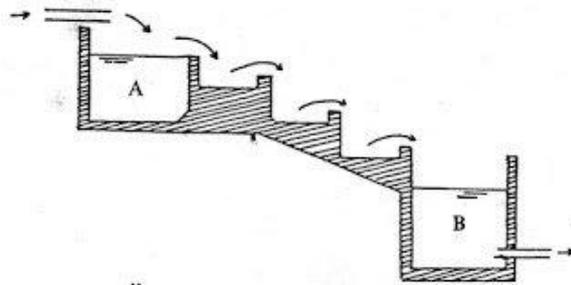
C : Pipa berlubang untuk udara

D : Inlet air baku

E : Bak air

3. Cascade Aerator

Merupakan aerator yang terdiri atas 4-6 tangga, setiap tangga memiliki ketinggian 30 cm dengan ketebalan $0,01 \text{ m}^3/\text{s per m}^2$. Untuk menghilangkan turbulensi guna meningkatkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peralatan pada setiap tangga. Cascade aerator memerlukan lebih banyak ruang dibandingkan dengan tray aerator, tetapi total kehilangan tekanannya lebih rendah dan tidak memerlukan pemeliharaan.

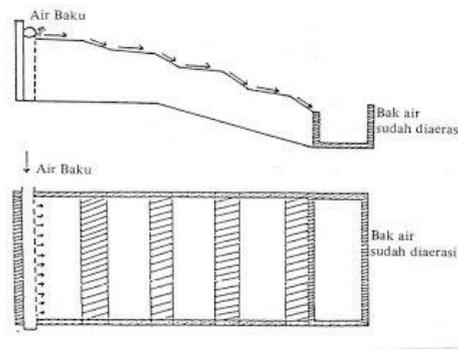


Gambar 2. 11 Cascade Aerator

(Sumber: Rahmawati, 2010)

4. Submerged Cascade Aerator

Merupakan aerator dengan penangkapan udara terjadi pada saat air terjun dari lempengan-lempengan yang membawanya. Selanjutnya oksigen dipindahkan dari gelembung-gelembung udara ke dalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 tangga. Kapasitas bervariasi antara $0,005$ dan $0,5 \text{ m}^3/\text{s per m}^2$.



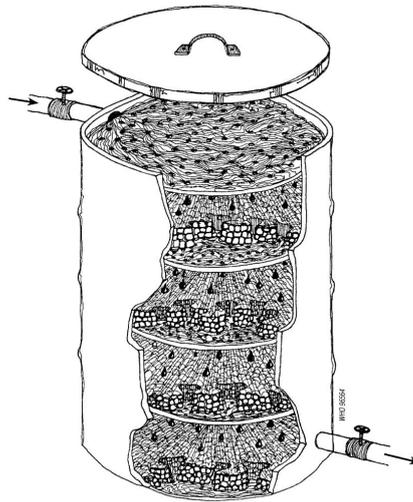
Gambar 2. 12 Submerged Cascade Aerator

(Sumber: Rahmawati, 2010)

5. Multiple Tray Aerator

Merupakan aerator yang terdiri dari suatu rangkaian bak yang tersusun seperti rak dan di dasarnya terdapat lubang. Air dialirkan dari puncak berupa air terjun kecil yang selanjutnya didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (tray) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasar. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran gas, media kasar seperti arang, batu, atau bola keramik berukuran 26 inch sangat penting untuk digunakan.

Aerator ini dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Apabila unit ini ditempatkan di dalam suatu bangunan dimana terdapat pencemaran udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang karena kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan unsur tertentu.



Gambar 2. 13 Multiple Tray Aerator

(Sumber: Rahmawati, 2010)

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

Tabel 2. 4 Penyisihan dan Spesifikasi Aerator

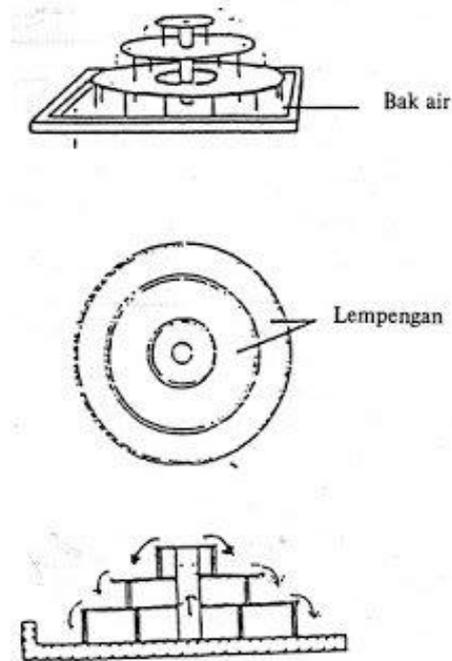
Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi: Cascade	20-45% CO ²	Tinggi: 1-3 m Luas: 85-105 m ² /m ² .detik Kecapatan aliran: 0,3 m/detik
Packing Tower	> 95% VOC > 90% CO ²	Diameter kolom maksimum: 3m Beban hidrolis: 2000 m ³ /m ² .hari
Tray	> 90% CO ²	Kecapatan: 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ air Jarak rak (tray): 30-75 cm Luas: 50-160 m ² /m ³ .detik
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- 10L/detik

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Berdifusi	90% VOCs	Luas bak: 105-320 $\text{m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{detik}$ Tekanan semprotan: 70 kPa Waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m^3/m^2 air Kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/Kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m^3 Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
Aerator Mekanik	70-90% CO_2 25-40 H_2S	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

6. Multiple Plat Form Aerator

Merupakan aerator dengan prinsip yang sama dengan submerged cascade aerator, yaitu lempengan-lempengan menjatuhkan air agar terjadi kontak udara dengan air secara penuh.



Gambar 2. 14 Multiple Plat Form Aerator

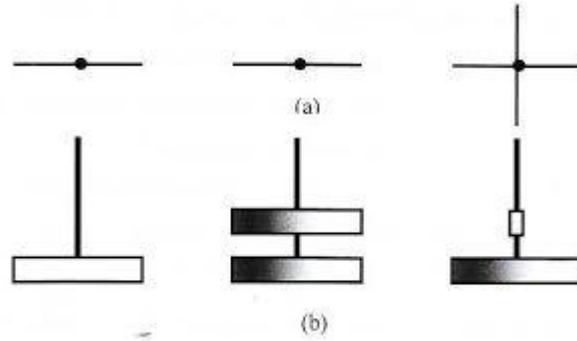
(Sumber: Rahmawati, 2010)

2.2.5 Koagulasi-Flokulasi

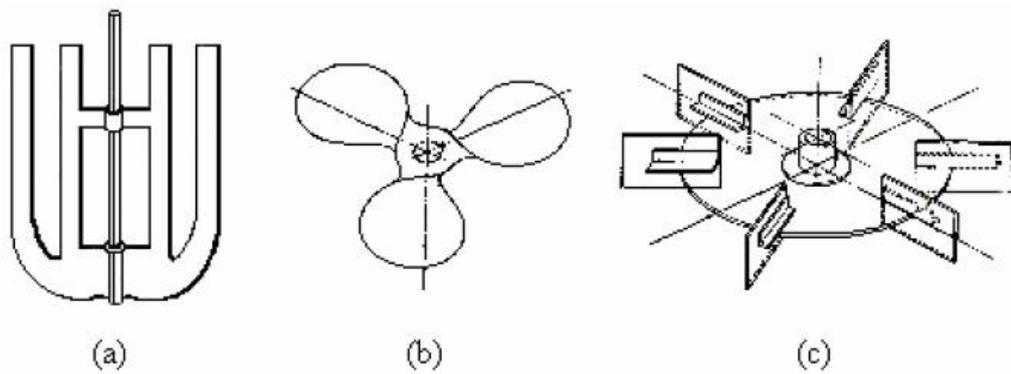
Koagulasi-flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses yang tidak dapat dipisahkan. Pada proses koagulasi, terjadi destabilisasi koloid dan partikel di dalam air karena pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Pengadukan cepat yang terjadi menyebabkan koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Setelah itu terjadi pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan dengan ion negatif dari partikel, dan antara ion positif dari partikel dengan ion negatif dari koagulan yang menyebabkan inti flok (presipitat) terbentuk.

Koagulasi dapat dilakukan dengan tiga cara antara lain pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatis. Pada pengadukan mekanis, peralatan yang digunakan antara lain motor tenaga listrik, poros pengaduk, dan alat

pengaduk. Alat pengaduk dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan bentuknya antara lain paddle, turbine, dan propeller. Dalam perancangan impeller, terdapat dua faktor pending yaitu G dan td. Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta KL serta KT.



(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)



(a) pengaduk *paddle* (b) pengaduk *propeller* (c) pengaduk *turbine*

Gambar 2. 15 Jenis Pengaduk

(Sumber: Qasim *et al.*, 2000)

Tabel 2. 5 Spesifikasi Pengaduk

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

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

Tabel 2. 6 Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (Detik-1)
20	1000
30	900
40	790
50>-	700

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

Tabel 2. 7 KL dan KT Impeller

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80

Jenis Impeller	KL	KT
Fan turbine, 6 blades at 45 derajat	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), D/W = 4	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, D/W = 6	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, D/W = 8	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, D/W = 6	49,0	2,75
Flat paddles, 4 blades, D/W = 8	71,0	3,82

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)

Terdapat beberapa jenis koagulan yang digunakan dalam pengolahan air sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ X = 12, 16, 18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium Aluminate	$Na_2Al_2O_4$	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

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Ferri Chlorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber: Sugiarto, 2006)

Dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Apabila kekeruhan di dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar, maka koagulan yang dibutuhkan hanya sedikit, sedangkan apabila kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang lebih banyak. Berikut faktor yang memengaruhi koagulan antara lain:

1. Pengaruh temperatur. Pada temperatur yang rendah akan terjadi reaksi yang lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap
2. Pengaruh garam. Garam dapat memengaruhi proses penggumpalan flok tergantung dengan ion dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, maka semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan oleh garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992).
3. Pengaruh pH. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral) untuk menghindari kelarutan koagulan.
4. Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Apabila tidak sesuai, maka tumbukan antara partikel dapat berkurang, sehingga mikroflokk yang terbentuk sedikit yang dapat mengakibatkan kekeruhan naik. Dosis koagulan yang berlebihan juga dapat menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan dapat meningkat.

5. Pengadukan. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang memiliki kekeruhan tinggi.

Setelah inti flok terbentuk, diikuti proses flokulasi. Flokulasi merupakan penggabungan inti flok menjadi flok yang berukuran lebih besar agar dapat mengendap dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk. Tumbukan antar flok yang terjadi karena pengadukan lambat menyebabkan penggabungan flok-flok kecil menjadi flok besar. Kontak antar partikel melalui tiga mekanisme antara lain:

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

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100/detik) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang terbentuk tidak pecah dan bergabung dengan flok lain sehingga terbentuk flok yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah:

1. Air sungai
 - Waktu detensi = minimal 20 menit
 - $G = 10-50$ /detik
2. Air keruh
 - Waktu detensi = minimal 230 menit
 - $G = 10-75$ /detik
3. Air waduk
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
4. Apabila tidak menggunakan koagulan garam besi
 - G tidak lebih dari 50/detik
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
- $G = 10-50/\text{detik}$

7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan sebagainya)

- Waktu detensi = 15-30 menit
- $G = 20-75/\text{detik}$
- $GTd = 10.000-100.000$ (Masduqi & Assomadi, 2012:110)

2.2.5 Netralisasi

Netralisasi merupakan pengolahan air dengan menetralkan pH atau keasaman air baku hingga menjadi netral. Netralisasi umumnya dilakukan dengan cara mengaduk air dan suatu senyawa di dalam bak pencampur dengan waktu detensi antara 5 sampai 30 menit, dan biasanya dilengkapi dengan kontrolir pH (Said, 2017). Terdapat berbagai macam bahan kimia yang digunakan dalam proses netralisasi sebagai berikut:

- Senyawa Basa

1. Natrium Hidroksida (NaOH), merupakan senyawa basa kuat
2. Magnesium Hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), merupakan senyawa basa sedang
3. Natrium Karbonat (Na_2CO_3), merupakan senyawa basa lemah
4. Natrium Bikarbonat (NaHCO_3), merupakan senyawa basa lemah

- Senyawa Asam

1. Karbon Dioksida (CO_2), merupakan asam kuat
2. Asam Sulfat (H_2SO_4), merupakan asam lemah

2.2.6 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan pengolahan air dengan cara memisahkan padatan dan cairan menggunakan pengendapan secara gravitasi agar partikel tersuspensi yang terdapat di dalam cairan terpisahkan. Berikut aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum:

- 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 menggunakan pipa dosing oleh alum, NaCl, chlorine, dan soda
- d. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat tipe. Pembagian tersebut didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas tipe tersebut antara lain:

1. Pengendapan Tipe I (Free Settling)
2. Pengendapan Tipe II (Flocculent Settling)
3. Pengendapan Tipe III (Zone/Hindered Settling)
4. Pengendapan Tipe IV (Compression Settling)

Bak sedimentasi memiliki berbagai macam bentuk sebagai berikut:

1. Segi empat (Rectangular)

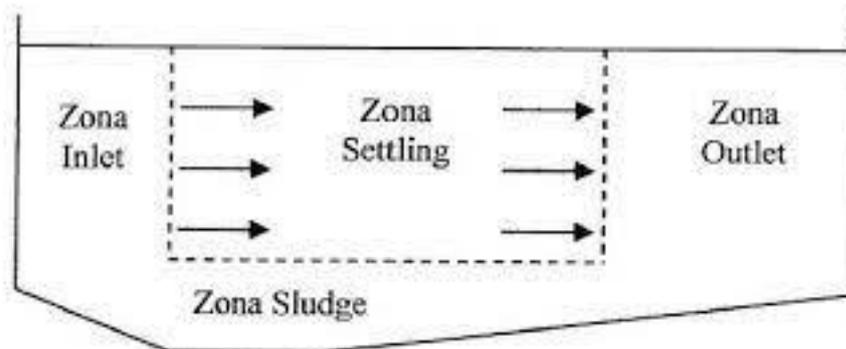
Bak sedimentasi dengan bentuk segi empat sering digunakan pada instalasi air dengan kapasitas yang besar. Pada bak ini, air mengalir secara horizontal dari saluran masuk menuju outlet, sementara partikel mengendap ke bawah. Bentuk kolam yang memanjang sesuai dengan arah aliran akan memperkecil kemungkinan terjadinya aliran pendek, bentuk hidraulika lebih baik karena tampang alirannya cukup seragam di sepanjang zona pengendapan. Dengan begitu aliran air dalam bak pengendap relatif konstan, sehingga proses pengendapan partikel.

Bentuk segi empat memiliki kelemahan yaitu laju peluapan besar dan menyebabkan gangguan pada akhir kolam pengendapan karena ukurannya kurang lebar. Untuk mengatasi hal tersebut, maka ambang peluapan harus diperpanjang, seperti menambahkan kisi-kisi saluran peluapan di depan saluran keluar (Kamulyan, 1997).

2. Lingkaran (Circular)

Bak sedimentasi dengan bentuk lingkaran sering digunakan pada instalasi air dengan kapasitas yang lebih kecil. Aliran air dapat secara horizontal ke arah radial dan umumnya menuju ke tepi lingkaran atau dengan aliran arah vertikal. Pada bak pengendap berbentuk lingkaran kemungkinan terjadi aliran pendek yang lebih besar dibandingkan dengan bak pengendap berbentuk segi empat, terutama ambang batas peluapan yang tidak setara dapat menyebabkan aliran air hanya menuju satu sisi tertentu. Kecepatan aliran yang tidak konstan dapat menyebabkan kesulitan pengontrolan kecepatan aliran karena dimensi yang besar.

Bentuk lingkaran memiliki kelemahan yaitu panjang peluapan hampir tidak pernah dijumpai karena ambang peluapan dibangun sepanjang lingkaran. Namun sering dijumpai panjang peluapan yang agak berlebihan, sehingga aliran yang sangat tipis melewati ambang peluapan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka ambang peluapan harus diperpendek dengan cara ambang peluapan berbentuk seperti huruf V atau huruf U. Keuntungan dari bentuk lingkaran ini adalah pemeliharaan lebih mudah (Kamulyan, 1997).



Gambar 2. 16 Letak Zona Pengolahan pada Unit Sedimentasi

(Sumber: Al-Layla, 1978)

Pada unit sedimentasi, terdapat empat zona pengolahan sebagai berikut:

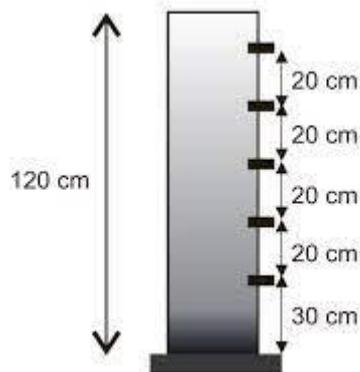
1. Zona Inlet. Pada zona ini, terjadi distribusi aliran menuju zona pengendapan (kurang lebih 25% panjang bak)

2. Zona Pengendapan. Pada zona ini, terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya.

3. Zona Sludge. Pada zona ini, terjadi pengendapan partikel dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.

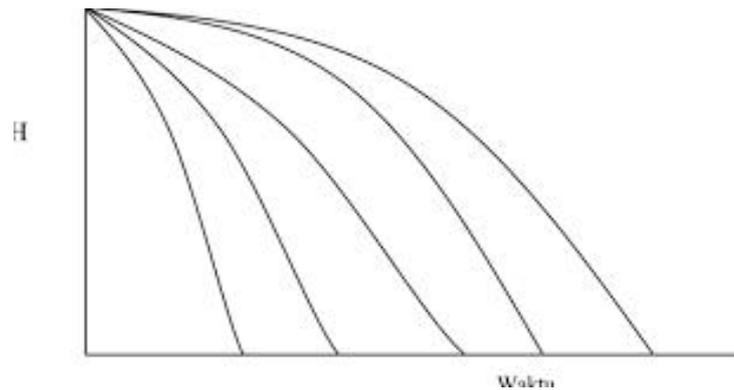
4. Zona Outlet. Pada zona ini, dihasilkan air jernih tanpa suspensi.

Kecepatan pengendapan partikel tidak dapat ditentukan dengan Persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Partikel yang mengendap diuji dengan column settling test dengan multiple withdraw ports. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu dan data removal partikel diplot pada grafik.



Gambar 2. 17 Kolom Pengendapan

(Sumber: Tauhid *et al.*, 2018)



Gambar 2. 18 Grafik Iso removal

(Sumber: <https://docplayer.info/21752911-Bab-3-sedimentasi-sedimentasi-adalah-pemisahan-solid-liquid-menggunakan-pengendapan-secara.html>)

Grafik Iso removal digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal didapatkan dari waktu yang ditentukan. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya penyisihan total pada waktu tertentu.

Dalam menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau overflow rate juga dapat digunakan grafik Iso removal apabila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu, berikut langkah-langkahnya:

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 (sumbu y) dengan waktu pengendapan (sumbu x)
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sumbu y) dengan overflow rate (sumbu x)

Kedua grafik tersebut 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 (batch). Nilai yang diperoleh digunakan untuk mendesain bak pengendap setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi, faktor scale up yang digunakan pada umumnya yaitu 1,75 dan untuk overflow rate, faktor scale up yang digunakan pada umumnya yaitu 0,65 (Reynolds &

Richards, 1996). Terdapat dua jenis bak sedimentasi yang sering digunakan sebagai berikut:

1. Horizontal-flow Sedimentation

Bak sedimentasi jenis ini dapat mengurangi lebih dari 95% kekeruhan air. Bentuknya berupa persegi panjang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik memiliki keuntungan yaitu dapat menyesuaikan kondisi air, seperti kekeruhan yang berubah, laju aliran meningkat, atau debit air yang meningkat. Sedangkan yang berbentuk lingkaran biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik.

Cara kerja bak sedimentasi bentuk persegi panjang yaitu air yang mengandung flok masuk ke zona inlet, setelah itu masuk ke zona pengendapan melalui baffle agar terjadi aliran laminar. Di dalam zona pengendapan, partikel mengendap dan masuk ke zona lumpur. Untuk supernatant keluar melalui zona outlet. Horizontal-flow sedimentation memiliki beberapa keuntungan antara lain prosesnya memberikan bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi alam, biaya konstruksi murah, perasional dan perawatannya terjangkau, dan dapat disesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air.

2. Upflow Sedimentation

Bak sedimentasi jenis ini biasanya digunakan apabila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Upflow sedimentation memiliki kelemahan yaitu tidak dapat digunakan apabila kapasitasnya berlebihan dan memerlukan tenaga ahli dalam operasional.

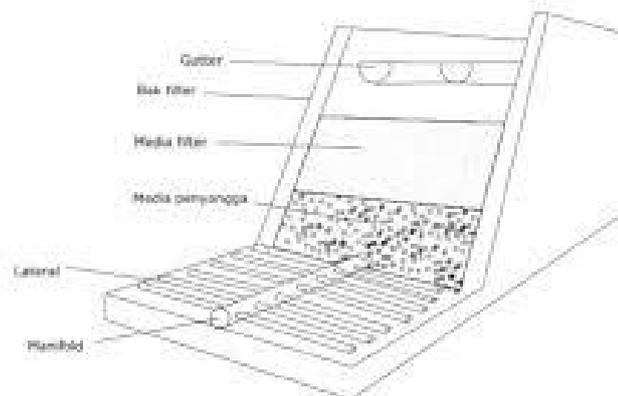
2.2.7 Filtrasi

Filtrasi merupakan pengolahan air dengan melewatkannya pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik. Partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara penuh dengan menggunakan proses sedimentasi (Al-Layla, 1978). Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Filtrasi juga dapat mengurangi warna,

bau, rasa, dan kadar besi serta mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar pencemar tersebut tidak lepas dengan adanya proses silika dan kimia di dalam filtrasi. Terdapat beberapa faktor dalam proses removal filter antara lain:

- a. Proses adsorpsi
- b. Proses koagulasi
- c. Proses sedimentasi
- d. Proses penyaringan di setiap lapisan permukaan filter
- e. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang terkumpul di atas lapisan filter
- f. Proses biologis di dalam filter
- g. Penggabungan koloid di dalam filter

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang berukuran terlalu besar dapat tertahan di atas lapisan pasir. Sedangkan partikel yang berukuran terlalu kecil akan lebih sulit dihilangkan karena akan lebih mudah lolos pada lapisan pasir. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Dapat juga digunakan oleh partikel flok yang belum seratus persen tersendapkan di dalam bak sedimentasi.



Gambar 2. 19 Bangunan Filtrasi

(Sumber: <https://123dok.com/document/y6m9r0gq-filtrasi-filtrasi-berbutir-terdapat-mekanisme-filtrasi-sebagai-berikut.html>)

Pada proses purifikasi air, rapid sand filter memiliki hasil effluent yang lebih baik dibandingkan dengan slow sand filter. Kecepatan rapid sand filter cukup tinggi dan laju filtrasinya berkisar antara 4-5 m³/m².hr (terkadang laju filtrasinya dapat lebih dari 6m³/m².hr). Apabila dilihat dari bawah, lapisan filter terdiri dari gravel dengan tebal 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.

Rapid sand filter memiliki keuntungan yaitu area yang diperlukan tidak terlalu luas, pasir yang dibutuhkan sedikit, kurang sensitif terhadap kualitas air baku, dan waktunya relatif cepat apabila dibandingkan dengan slow sand filter. Sedangkan kelemahan rapid sand filter antara lain tidak dapat mengurangi bakteri di dalam air, memerlukan biaya yang mahal, memerlukan keahlian khusus, dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Filtrasi tersusun dari media berupa pasir silika alami, antrasit, dan pasir garnet. Media-media di dalam filtrasi memiliki ukuran, bentuk, dan komposisi yang bervariasi. Pemilihan media filter dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media. Effective Size (ES) merupakan ukuran efektif media filter bagian atas yang dianggap paling efektif untuk memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman media filter atau 10% dari fraksi berat, dan sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 dapat dihitung dari rasio ukuran rata-rata standar deviasinya. Uniformity Coefficient (UC) merupakan koefisien keragaman berupa angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60% fraksi berat terhadap ukuran.

Kriteria perencanaan untuk keperluan rapid sand filter:

- Single media

UC = 1,3-1,7

ES = 0,45-0,7 mm

- Dual media

UC = 1,4-1,9

ES = 0,5-0,7 mm

Terdapat berbagai jenis filter yang dapat digunakan antara lain rapid sand filter, slow sand filter, pressure sand filter, multiple media filter, upflow filter, diatomaceous earth filter, dan lain sebagainya. Berikut jenis-jenis filtrasi yang telah digunakan:

1. Rapid Sand Filter

Merupakan filter yang memiliki kecepatan filtrasi cepat. Antara 6-11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulas-flokulasi dan sedimentasi untuk memisahkan partikel tersuspensi. Apabila kekeruhan influent filter ini berkisar antara 5-10 NTU, maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Maduqi & Assomadi, 2012). Berikut kriteria desain rapid sand filter:

Tabel 2. 9 Kriteria Desain Rapid Sand Filter

Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
Kecepatan penyaringan (m/jam)	6-11	6-11
Pencucian:		
Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower & atau surface wash	Tanpa/dengan blower & atau surface wash
Kecepatan (m/jam)	36-50	36-50
Lama pencucian (menit)	10-15	10-15
Periode antara dua pencucian (jam)	18-24	18-24
Ekspansi (%)	30-50	30-50
Dasar Filter		
a. Lapisan penyangga dari atas ke bawah		

Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
Kedalaman (mm)	80-100	80-100
ukuran butir (mm)	2-5	2-5
Kedalaman (mm)	80-100	80-100
ukuran butir (mm)	5-10	5-10
Kedalaman (mm)	80-100	80-100
ukuran butir (mm)	10-15	10-15
Kedalaman (mm)	80-100	80-100
ukuran butir (mm)	15-30	15-30
Filter Nozel		
Lebar slot nozel (mm)	< 0,5	< 0,5
Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	> 4%	> 4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

2. Slow Sand Filter

Slow sand filter merupakan filter yang memiliki kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1-0,4 m/jam. Cara kerja filter ini yaitu dengan cara membentuk lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut dengan lapisan *hyogal* atau *schumtzdecke*. Lapisan tersebut mengandung bakteri, fungsi, larva serangga air, protozoa, dan rotifera. *Schumtzdecke* melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air dilewati lapisan ini, partikel akan terperangkap dan zat organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa (Masduqi & Assomadi, 2012). Berikut kriteria desain slow sand filter:

Tabel 2. 10 Kriteria Desain Slow Sand Filter

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1-0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m ²
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-100 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20-60 hari
Metode pembersihan	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan menucicinya
Air untuk pembersihan	0,2-0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah

(Sumber: Schul & Okun, 1984)

3. Filter Bertekanan

Filter bertekanan memiliki prinsip yang sama dengan rapid sand filter dan slow sand filter, yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada kedua filter tersebut, aliran air melewati media berbutir 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 di dalam tangki. Berikut kriteria desain filter bertekanan:

Tabel 2. 11 Filter Bertekanan

Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)
Kecepatan penyaringan (m/jam)	12-33
Pencucian	
● Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower % atau surface wash
● Kecepatan (m/jam)	72-198
● Lama pencucian (menit)	-
● Periode antara dua pencucian (jam)	-
● Ekspansi (%)	30-50
Media Pasir	
● Tebal (mm)	300-700
● Single media	600-700
● Ganda media	300-600
● Ukuran efektif, ES (mm)	-
● Koefisien keseragaman, UC	1,2-1,4
● Berat jenis (kg/L)	2,5-2,65
● Porositas	0,4
● Kadar SiO ₂	>955
Media Antrasit:	
● Tebal (mm)	400-500
● Ukuran efektif, ES (mm)	1,2-1,8
● Koefisien keseragaman, UC	1,5
● Berat jenis (kg/L)	1,35
● Porositas	0,5

Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)
Dasar Filter Nozel:	
● Lebar slot nozel (mm)	< 0,5
● Prosentase luas slot nozel terhadap	> 4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

4. Hidraulika Pencucian (Backwash)

Filter akan mengalami penyumbatan setelah digunakan dalam kurun waktu tertentu akibat tertahannya partikel halus dan koloid oleh media filter. Media filter yang tersumbat ditandai oleh:

- Penurunan kapasitas produksi
- Peningkatan kehilangan energi yang diikuti oleh kenaikan muka air di atas media filter
- Penurunan kualitas produksi

2.2.8 Desinfeksi

Desinfeksi merupakan pengolahan air untuk membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Terdapat dua metode dalam melakukan desinfeksi, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik merupakan perlakuan fisik terhadap mikroorganisme melalui panas dan cahaya yang mengakibatkan mikroorganisme hilang. Sedangkan metode kimiawi yaitu dengan memberikan bahan kimia ke dalam air agar terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme patogen yang mengakibatkan mikroorganisme hilang.

Pada desinfeksi secara fisik, digunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Pada desinfeksi secara kimiawi, digunakan larutan kaporit, gas klor, dan ozon. Tujuan proses desinfeksi antara lain:

- Mematikan alga
- Menghilangkan alga
- Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat
- Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya

- Mengoksidasi amonia menjadi amin

Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi:

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

Desinfeksi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara sebagai berikut:

1. Desinfeksi dengan ozon

Ozon merupakan zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600-3000 lebih kuat dari klorin. Mekanisme produksi ozon antara lain eksitasi dan percepatan elektron yang tidak beraturan dalam medan listrik tinggi. O_2 berarus bolak-balik melewati media arus listrik yang tinggi dan menghasilkan lompatan elektron yang bergerak pada elektroda satu dan yang lain. Apabila elektroda mencapai kecepatan cukup, maka dapat menyebabkan molekul oksigen splitting ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom tersebut akan bergabung membentuk ozon.

2. Desinfeksi dengan UV

Pada umumnya sinar UV mampu mematikan semua mikroorganisme. Daerah yang berperan dalam efek germicida adalah UV-AC, dengan panjang gelombang 280-220 nm.

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

Mekanisme desinfeksi dengan pembubuhan kimia yaitu mencampurkan bahan kimia ke dalam air dengan waktu yang cukup agar terjadi kontak dengan bakteri.

4. Desinfeksi dengan gas klor

Klorin digunakan dalam desinfeksi 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 memerlukan waktu 15-30 menit.

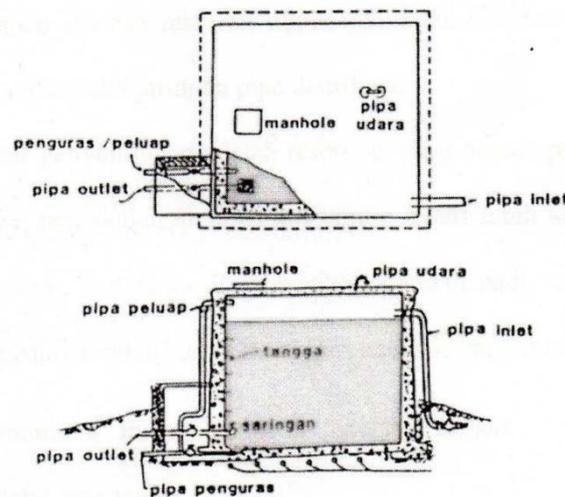
2.2.9 Reservoir

Reservoir merupakan tempat penampungan air bersih. Reservoir memiliki fungsi utama yaitu 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 disimpan sementara di 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, reservoir dibedakan menjadi dua jenis sebagai berikut:

1. Reservoir Permukaan (Ground Reservoir)

Merupakan reservoir yang sebagian besar atau seluruh bagiannya terletak di bawah permukaan tanah.



Gambar 2. 20 Reservoir Permukaan

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/KbyXxKWobdL6wHR17>)

2. Reservoir Menara (Elevated Reservoir)

Merupakan reservoir yang seluruh bagiannya terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.



Gambar 2. 21 Reservoir Menara

(Sumber: <https://aladintirta.blogspot.com/2011/01/bangunan-reservoir-1.html?m=1>)

Berdasarkan bahan konstruksinya, reservoir dibedakan menjadi tiga jenis sebagai berikut:

1. Reservoir Beton Cor

Merupakan reservoir yang memiliki penutup dari kayu atau beton. Kelebihan dari reservoir jenis ini yaitu kedap air dan tidak mudah bocor, sedangkan kekurangan dari bahan beton adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.

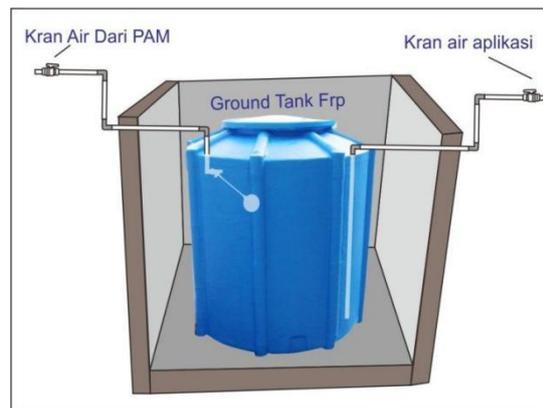


Gambar 2. 22 Reservoir Beton Cor

(Sumber: <https://distributorharga.com/hal-penting-yang-harus-diperhatikan-saat-memasang-tangki-beton/?amp=1>)

2. Reservoar Fiberglass

Merupakan reservoar yang berbahan dasar fiberglass. Kelebihan dari reservoar jenis ini yaitu ringan dan tekstur dinding tangki kaku serta terlihat kuat. Sedangkan kekurangannya yaitu rentan terhadap benturan, dindingnya mudah retak, tidak tahan terhadap UV, dan apabila terjemur sinar matahari dapat terjadi oksidasi.



Gambar 2. 23 Reservoar Fiberglass

(Sumber: <https://www.m.garudajaya.com/product/tangki-fiberglass-untuk-cairan-kimia>)

3. Reservoar Tangki Baja

Merupakan reservoar tanah yang dinkonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Reservoar jenis ini perlu dicat dan dilindungi dengan “Cathodic Protection” karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas. Biasanya biaya tangki baja lebih murah dibandingkan dengan tangki beton.

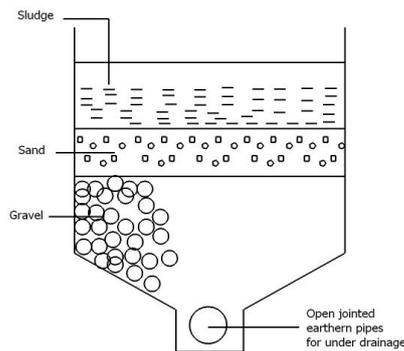


Gambar 2. 24 Reservoar Tangki Baja

(Sumber: <https://pdamtirtamountala.com/fasilitas-dan-infrastruktur/fasilitas-produksi-ipa-dan-proses/>)

2.2.10 Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan bak yang digunakan untuk mengumpulkan padatan lumpur dengan ukuran padatan relatif kecil hingga sedang. Mekanisme sludge drying bed antara lain memiliki kedalaman lapisan lumpur berkisar 200-300 mm, kemudian lumpur dibiarkan mengering. Kadar air dalam lumpur dapat berkurang karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat dari penguapan.



Gambar 2. 25 Tampak Samping Sludge Drying Bed

(Sumber: [https://www.semanticscholar.org/paper/Classification-of-sludge-drying-beds-SDB-\(-sand-%2C-%2C-Elbaz-Aboufotoh/1542ee6ab390147365216c3411541f0a5deac0e4\)](https://www.semanticscholar.org/paper/Classification-of-sludge-drying-beds-SDB-(-sand-%2C-%2C-Elbaz-Aboufotoh/1542ee6ab390147365216c3411541f0a5deac0e4)))

Sludge drying bed umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcald & Eddy, 2003). Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekurang-kurangnya 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi 2,5-6m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung, sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase tersebut. Media yang digunakan berupa kerikil dan pecahan batu yang disusun dengan ketebalan 230-300 mm. Pasir yang digunakan sebagai media penyangga 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 berkisar antara 6-30 m dengan kedalaman

berkisar antara 380-460 mm. Bahan penyusun bangunan sludge drying bed disarankan yaitu beton (Metcalf & Eddy, 2003).

Pipa inlet unit ini harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 ms dan memungkinkan terjadinya pengurasan saluran drainase. Penyaluran lumpur dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi sludge drying bed untuk mengurangi kecepatan alir saat lumpur memasuki bangunan pengering (Metcalf & Eddy, 2003). Padatan sludge drying bed dapat dikuras dari bangunan sludge drying bed setelah lumpur mengering. Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur sebaiknya ditutup untuk mengisolasi dan mengantisipasi bau yang tersebar. Apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, reaktor dibangun pada jarak minimal 100 m dari lokasi hunian penduduk agar pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau dapat diantisipasi (Metcalf & Eddy, 2003).

2.4 Persen Removal

Persen removal merupakan persen penyisihan unit pengolahan terhadap suatu zat pencemar di dalam air sungai. Persen removal unit pengolahan dirangkum dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2. 12 Persen Removal

No.	Parameter	Unit	Sumber
1.	BOD	- Sedimentasi	- Metcalf and Eddy, Wstewater Engineering Treatment and Reuse 4 th , hal. 497
2.	COD	- Sedimentasi - Filtrasi	- Syed R., Qasim, WWT Planning, Design, and Operation. - Syed R. Qasim, Water Treatment Plant.

No.	Parameter	Unit	Sumber
3.	TSS	- Sedimentasi	- Metcalf and Eddy, Wstewater Engineering Treatment and Reuse 4 th . - Syed R., Qasim, WWT Planning, Design, and Operation.
4.	DO	- Aerasi	- Droste, 1997, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment Chapter 9.
5.	Minyak dan lemak	- Sedimentasi	- Syed R., Qasim, WWT Planning, Design, and Operation.
6.	Kekeruhan	- Sedimentasi	- Droste, 1997, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment Chapter 9.
7.	pH	- Netralisasi	- Reynolds/Richards 2 nd , Unit Operations and Processess in Environmental Engineering.

2.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan upaya penyajian secara grafis *hydraulic grade line*+ dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, emengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik. Profil hirdolis digambarkan untuk mendaotkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan yang terjadi akibat pengaliran

bangunan. Beda tinggi setiap unit ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan dan kehilangan tekanan.

Profil hidrolis merupakan faktor penting demi terjainya pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan yang tersedia bagi pengaliran. Head dapat disediakan oleh beda elevasi agar air mengalir secara gravitasi. Apabila tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu menggunakan pompa. Terdapat hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis sebagai berikut:

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan
 - a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
 - b. Kehilangan tekanan pada bak
 - c. Kehilangan tekanan pada pintu
 - d. Kehilangan tekanan pada weir, baffle, ambang, dan sebagainya harus dihitung secara khusus
2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
 - a. Kehilangan tekanan pada perpipaan
 - b. Kehilangan tekanan pada pompa
 - c. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok
 - d. Kehilangan tekanan pada aksesoris
3. Tinggi muka air, dapat dihitung dengan cara:
 - a. Menentukan tinggi muka air dengan bangunan pengolahan yang palimh akhir
 - b. Menambahkan kehilangan tekanan antara clear will dengan hambatan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well
 - c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear
 - d.** Apabila tinggi muka air bangunan setelah intake harus lebih tinggi dari muka air sumber, maka diperlukan pompa intake untuk menaikkan air

2.6 BoQ dan RAB

2.6.1 BoQ (Bill of Quantity)

BoQ merupakan peincian seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah pekerjaan konstruksi. BoQ terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan MEP (Mekanikal, Elektrikal, Plumbing), pekerjaan utilitas, lanskap, dan sebagainya.

Karakteristik BoQ :

1. Masing-masing item pekerjaan telah tercantum beserta volume.
2. Menghitung volume BoQ berdasarkan gambar rencana
3. Tidak menutup kemungkinan item dan volume pekerjaan tersebut dapat bertambah atau berkurang kemudian hari, yaitu pada saat klarifikasi dan negosiasi harga.
4. Tidak tercantum harga satuan pekerjaan.
5. Pihak yang menyusun BoQ adalah konsultan perencana.

2.6.2 RAB (Rencana Anggaran Biaya)

RAB merupakan daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang dianggarkan dalam melaksanakan sebuah proyek konstruksi, mencakup keseluruhan biaya yang kita perlukan untuk pengadaan bahan, biaya alat, dan biaya tenaga kerja.

RAB dapat meliputi seluruh item pekerjaan yang ada pada sebuah proyek konstruksi atau 1 sub pekerjaan, seperti RAB sub pekerjaan konstruksi baja, RAB sub pekerjaan instalasi listrik, dan sebagainya. Pada proyek berskala kecil yang tidak menggunakan jasa konsultan perencana, misalnya pada pembangunan rumah tinggal. Kontraktor selalu melakukan perhitungan RAB untuk diajukan kepada owner. Berikut karakteristik RAB :

1. Tercantum seluruh item pekerjaan, volume, dan harga satuan kerja.
2. Item pekerjaan, volume, dan harga satuan yang terdapat di dalam RAB sifatnya mengikat.
3. Menghitung volume RAB berdasarkan bestek atau forcont.
4. RAB oleh masing-masing kontraktor, sehingga volume dan harga stauan pekerjaan berbeda.