

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

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

2.1.1 PH (Derajat Keasaman)

pH merupakan suatu parameter penting untuk menentukan kadar asam/basa dalam air. Penentuan pH merupakan tes yang paling penting dan paling sering digunakan pada kimia air. pH digunakan pada penentuan alkalinitas, CO₂, serta dalam kesetimbangan asam basa. Pada temperatur yang diberikan, intensitas asam atau karakter dasar suatu larutan diindikasikan oleh pH dan aktivitas ion hidrogen. Perubahan pH air dapat menyebabkan berubahnya bau, rasa, dan warna. Pada proses pengolahan air seperti koagulasi, desinfeksi, dan pelunakan air, nilai pH harus dijaga sampai rentang dimana organisme partikulat terlibat. Asam dan basa pada dasarnya dibedakan dari rasanya kemudian dari efek yang ditimbulkan pada indikator.

Pengertian pH (power of Hydrogen) sebenarnya adalah sebuah ukuran tingkat asam (acidity) atau basa (alkalinity) dari air tersebut. Tingkat pH pada air laut berkisar antara 7,6-8,4 (Nursaiful, 2004). Kenaikan pH pada perairan akan menurunkan konsentrasi CO₂ terutama pada siang hari ketika proses fotosintesis sedang berlangsung.

2.1.2 TSS (*Total Suspended Solid*)

Materi yang tersuspensi adalah materi yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pada molekul atau ion yang terlarut. 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.

Materi tersuspensi mempunyai efek yang kurang baik terhadap kualitas air karena menyebabkan kekeruhan dan mengurangi cahaya yang dapat masuk ke dalam air. Oleh karenanya, manfaat air dapat berkurang, dan organisme yang butuh cahaya akan mati. Setiap kematian organisme akan menyebabkan terganggunya ekosistem akuatik. Apabila jumlah materi tersuspensi ini banyak dan kemudian mengendap, maka pembentukan lumpur dapat sangat mengganggu dalam saluran, pendangkalan cepat terjadi, sehingga diperlukan pengerukan lumpur yang lebih sering. Apabila zat-zat ini sampai di muara sungai dan bereaksi dengan air yang asri, maka baik koloid maupun zat terlarut dapat mengendap di muara dan proses inilah yang menyebabkan terbentuknya delta-delta. Dapat dimengerti, bahwa pengaruhnya terhadap kesehatan pun menjadi tidak langsung.

2.1.3 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

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).

2.1.4. Besi (Fe)

Besi adalah salah satu dari lebih unsur-unsur penting dalam air permukaan dan air tanah. Perairan yang mengandung besi sangat tidak diinginkan untuk keperluan rumah tangga, karena dapat menyebabkan bekas karat pada pakaian, porselen, alat-alat lainnya serta menimbulkan rasa yang tidak enak dan menyebabkan warna air kekuningan atau kecokelatan pada air minum pada konsentrasi di atas kurang lebih 0,31 mg/l (Juniar & Sari, 2019)

2.1.5. Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur berlimpah di kerak bumi (sekitar 0,1%) yang terjadi secara alamiah. Mangan merupakan logam keras dan sangat rapuh. Sulit untuk meleleh, tetapi mudah teroksidasi. Mangan bersifat reaktif ketika murni,

sebagai bubuk akan terbakar dalam O₂, bereaksi dengan air dan larut dalam asam encer (Fisika et al., 2013).

2.2 Bangunan Pengelolaan Air Minum

2.2.1 Intake

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

Persyaratan lokasi penempatan bangunan pengambilan (intake):

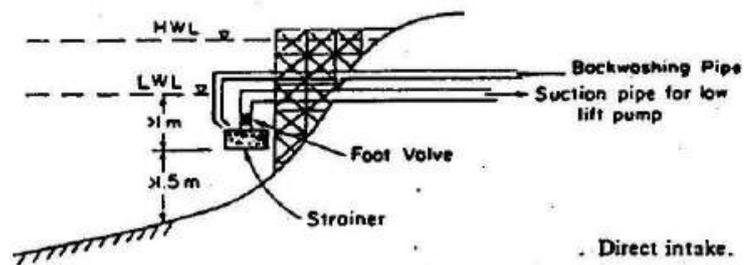
1. Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (uplift);
4. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya;
5. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian;
6. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air;
7. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku;

8. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun;
9. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

Menurut Kawamura (2000), bangunan intake memiliki tipe yang bermacam-macam antara lain :

1. Bangunan Penyadap Langsung (Direct Intake)

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

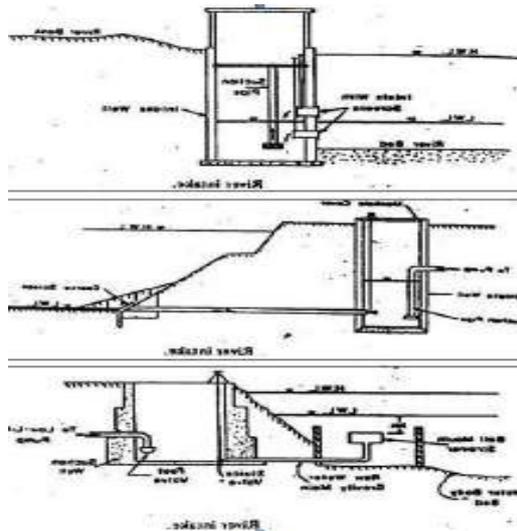


Gambar 2. 1 *Direct Intake*

2. Bangunan Penyadap Tidak Langsung (Indirect Intake)

- a. *River Intake*

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

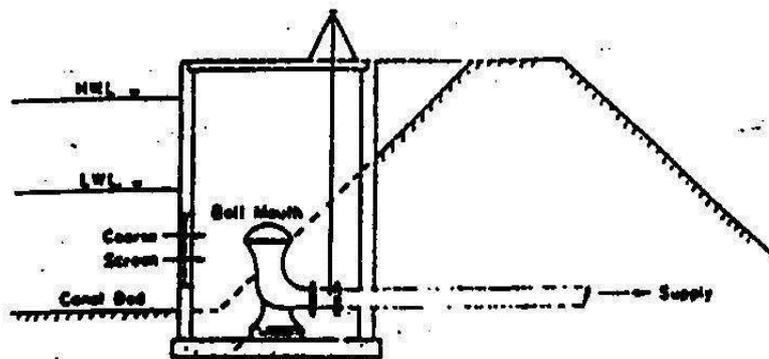


Gambar 2. 2 River Intake

(Sumber : Kawamura, 2000)

b. Canal Intake

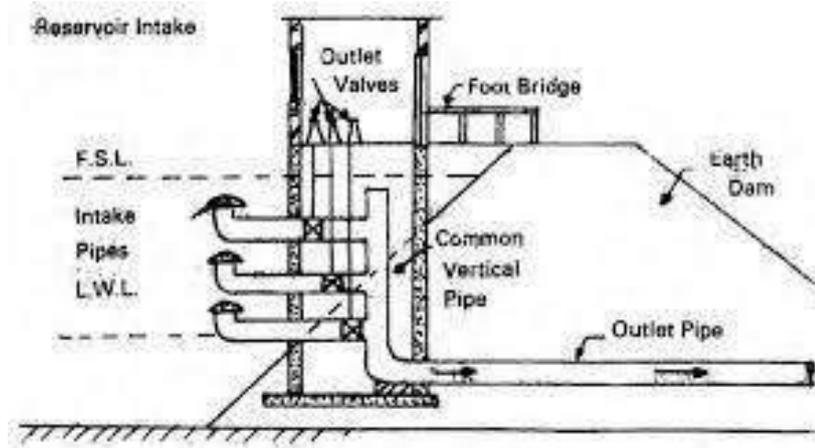
Digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding chamber sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.



Gambar 2. 3 Canal Intake

c. Reservoir Intake

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



Gambar 2. 4 *Reservoir Intake*

(sumber : : Kawamura, 2000)

2.2.2 Prasedimentasi

Prasedimentasi biasa digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti kerikil dan pasir yang berasal dari air sungai sebelum dipompa ke unit pengolahan. Prasedimentasi merupakan salah satu unit pada bangunan pengolahan air minum yang umumnya digunakan sebagai pengolahan pendahuluan. Bentuk unit prasedimentasi yang umum digunakan adalah rectangular dan circular serta terdiri dari empat zona, yaitu zona inlet, zona pengendapan, outlet, dan zona lumpur. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan adalah overflow rate, $v_{horizontal}$ (v_h), bilangan Reynold partikel, serta karakteristik aliran (Reynolds & Richards, 1996). Bak pengendap pertama terdiri dari empat ruangan fungsional yaitu:

1. Zona Inlet

Tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady uniform di zona settling (aliran laminar).

2. Zona Pengendapan

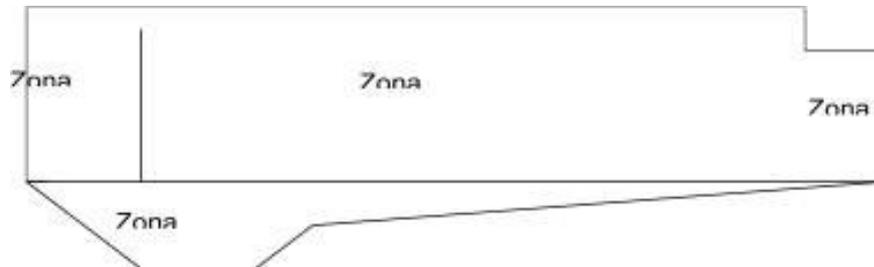
Tempat berlangsungnya proses pengendapan/pemisahan partikel - partikel diskrit di dalam air buangan.

3. ZonaLumpur

Tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.

4. Zona Outlet

Tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran efluen serta mengatur debit efluen (Qasim et al., 2000).



Gambar 2. 5 Tampak samping unit prasedimentasi

(sumber : Qasim, 2000)

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

Tabel 2. 1 Kriteria Desain Tipikal Prasedimentasi

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

Sumber : Metcalf & Eddy (2003 hal 398)

2.2.3 Netralisasi

Proses netralisasi bertujuan untuk menetralkan pH atau keasaman air baku sampai menjadi netral. Hal tersebut dimaksudkan agar proses pengolahan dapat berjalan dengan baik. (Said, 2017). Proses penetralan umumnya dilakukan dengan pengadukan di dalam bak pencampur dengan waktu detensi berkisar antara 5

sampai 30 menit, dan biasanya dilengkapi dengan kontrolir pH. (Said, 2017).

Berikut merupakan bahan kimia yang seringkali digunakan dalam proses netralisasi (W.Wesley Eckenfelder, 2000) :

□ Senyawa Basa

1. Natrium Hidroksida (NaOH). : Senyawa basa kuat
2. Megnesium Hidroksida (Mg(OH)₂) : Senyawa basa sedang
3. Natrium Karbonat (Na₂CO₃). : Senyawa basa lemah
4. Natrium Bikarbonat (NaHCO₃). : Senyawa basa lemah

□ Senyawa Asam

1. Asam Sulfat (H₂SO₄) : Senyawa asam kuat
2. Karbon Dioksida (CO₂) : Senyawa Asam lemah

2.2.4 Aerasi

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

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

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

Hasil pengolahan air dengan metoda aerasi bermanfaat untuk menghasilkan air minum yang baik. Penurunan jumlah karbon dalam air sehingga bisa berbentuk dengan kalsium karbonat (CaCO₃) yang dapat menimbulkan masalah.

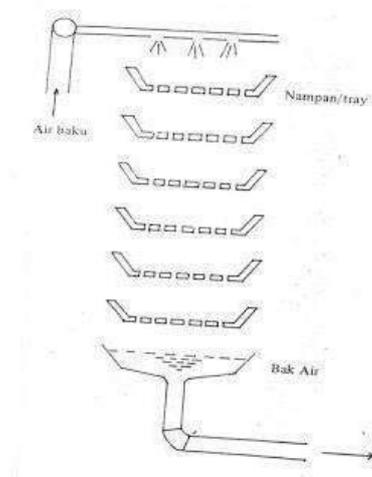
Aerasi secara luas telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan jumlah besi dan mangan terlalu tinggi zat tersebut memberikan rasa pahit pada air, menghitamkan pemasakan beras dan memberikan noda hitam kecoklat-coklatan pada pakaian yang dicuci.

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

Penurunan carbon dioxide (CO₂) oleh waterfall aerators cukup berarti, tetapi tidak memadai apabila dari yang sangat corrosive. Pengolahan selanjutnya seperti pembubuhan kapur atau dengan saringan marmar atau dolomite yang dibakar masih dibutuhkan. 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.

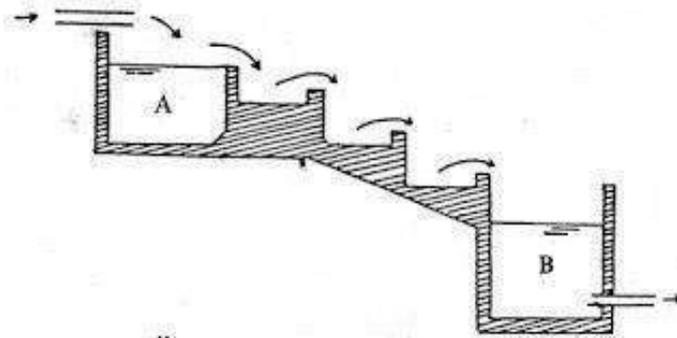


Gambar 2. 6 Multiple Tray Aerator

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

b. Cascade Aerator

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



Gambar 2.7 *Cascade Aerator*

Keterangan :

A = Air baku

B = Air sudah diaerasi

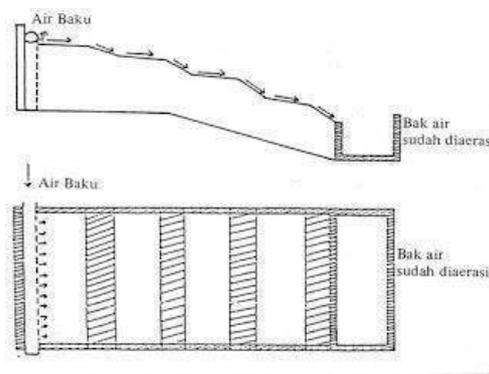
C = Inlet

D = Lubang pembersih

E = Outlet

c. Submerged Cascade Aerator

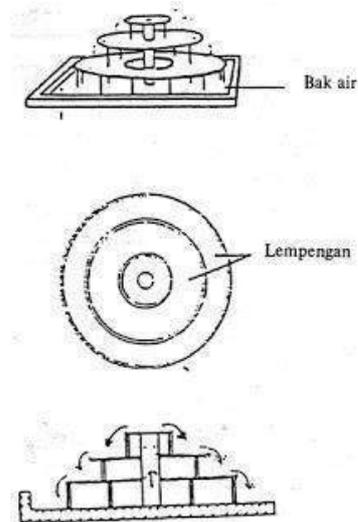
Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung- gelembung udara kedalam air . Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi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



Gambar 2.8 *Submerged Cascade Aerator*

d. Multiple Platform Aerator

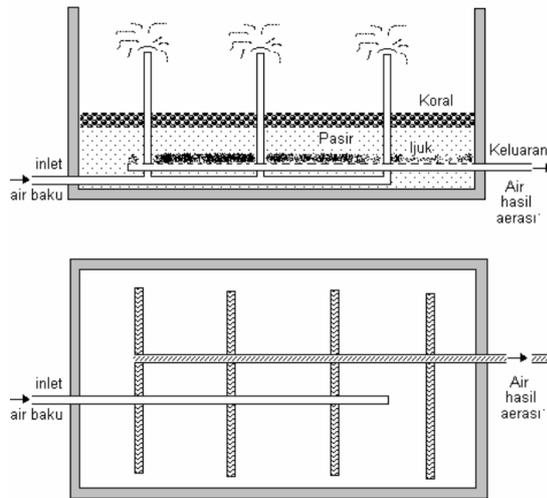
Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.



Gambar 2. 9 *Multiple Platform Aerator*

e. Spray Aerator

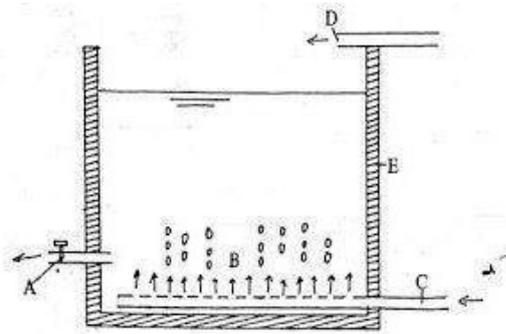
Terdiri atas nozzel penyemprot yang tidak bergerak (Stationary nozzles) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik. Spray aerator sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air ke arah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15 -20 mm. piringan melingkar ditempatkan beberapa sentimeter di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nozzle untuk spray aerator bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar. Dibandingkan dengan cascade aerator, spay aerator tidak memerlukan banyak ruang serta mempermudah dalam mengontrol kebutuhan suplay oksigen.



Gambar 2. 10 *Spray Aerator*

f. Aerator Gelembung Udara (*Bubble aerator*)

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



Gambar 2. 11 *Bubble Aerator*

Keterangan :

A = Outlet

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = Inlet air baku

E = Bak air

g. Multiple – Tray Aerator

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (tray) dan dilubangi pada bagian dasarnya. Air dialirkan dari puncak berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (tray) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (collecting ponds). Pemerataan distribusi air di atas tray sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media kasar seperti arang, batu atau bola keramik yang ukurannya berkisar antara 26 inch (5-15 cm) adalah sangat penting untuk digunakan, karena dapat meningkatkan efisiensi pertukaran gas, sebagai efek katalis dari mangan oksida.

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

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

Tabel 2. 2 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

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Tray	>90% CO ₂	Kecepatan 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ air Jarak rak (tray): 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
Aerator Berdifusi	80% VOC _s	Luas Bak : 105 -320 m ² /m ³ .det Tekanan semprotan : 70kPa 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

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Mekanik	70 – 90% CO ₂ 25 – 40 H ₂ S	Waktu detensi 10 – 30 menit Kedalaman tangka : 2- 4 m

(Sumber ; Qasim, 2000)

2.2.5 Koagulasi - Flokulasi

Menurut Reynolds dan Richards (1996), koagulasi-flokulasi merupakan proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Proses ini berlanjut dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al³⁺) dengan ion negatif dari partikel (misal OH⁻) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca²⁺) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO₄²⁻) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat).

Segera setelah terbentuk inti flok, diikuti oleh proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat. Proses koagulasi-flokulasi dapat digambarkan secara skematik pada gambar dibawah ini. Pada tabel 2.3 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2. 3 Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

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 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 sulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	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

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan

ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 7 (netral).

2. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur yang rendah reaksi lebih lambat dan viskositas air menjadi lebih besar sehingga flok lebih sukar mengendap.

3. Dosis Koagulan

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

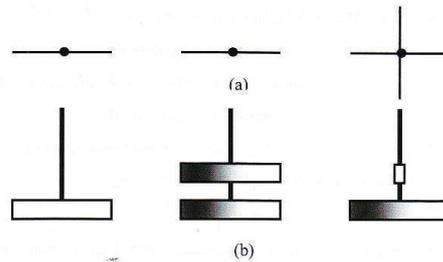
5. Pengadukan (*mixing*)

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

6. Pengaruh Garam

Garam-garam ini dapat mempengaruhi proses suatu penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda-beda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion akan semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Sutrisno, 1992).

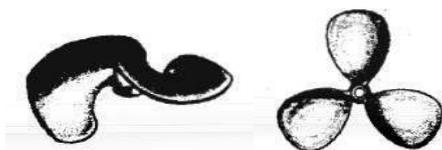
Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatik. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling- baling). Bentuk ketiga impeller dapat dilihat pada gambar 2.13, gambar 2.14, dan gambar 2.15. Kriteria *impeller* dapat dilihat pada tabel 2.4. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Tabel 2.5 dapat dijadikan patokan untuk menentukan G dan td . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT yang dapat dilihat pada tabel 2.6.



Gambar 2. 12 Tipe paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping



Gambar 2. 14 Tipe Turbin



Gambar 2. 13 Tipe Propeller

Tabel 2. 4 Kriteria Propeller

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

Tabel 2. 5 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradient Kecepatan

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

Tabel 2. 6 Konstanta KL dan KT untuk Tangki berserat

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

2.2.6 Flokulasi

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

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

Pengadukan lambat (agitasi dan *stirring*) digunakan dalam proses flokulasi, untuk memberi kesempatan kepada partikel flok yang sudah terkoagulasi untuk bergabung membentuk flok yang ukurannya semakin membesar. Selain itu, untuk memudahkan flokulan untuk mengikat flok-flok kecil dan mencegah pecahnya flok yang sudah terbentuk.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik-1) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Camp) berkisar 48000 hingga 210000. Gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah:

1. Air sungai
Waktu detensi = minimum 20 menit
 $G = 10-50 \text{ detik}^{-1}$
2. Air waduk
Waktu detensi = 30 menit
 $G = 10-75 \text{ detik}^{-1}$
3. Air keruh
Waktu detensi dan G lebih rendah
Jika menggunakan garam besi sebagai koagulan
 G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
4. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 G kompartemen 1: nilai terbesar
 G kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
 G kompartemen 3: nilai terkecil
5. Penurunan kesadahan
Waktu detensi = 30 menit
 $G = 10-50 \text{ detik}^{-1}$
6. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
Waktu detensi = 15-30 menit
 $G = 20-75 \text{ detik}^{-1}$
 $GTd = 10.000-100.000$ (Masduqi & Assomadi, 2012:110)

2.2.7 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 dimana air yang masuk akan melalui zona inlet, zona pengendap, dan zona sludge. Pada zona pengendap partikel – partikel pencemar secara gravitasi akan turun ke bawah sehingga kadar TSS akan berkurang. Song et al., 2000 menyatakan unit sedimentasi juga bisa mengurangi kadar BOD. BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan kebutuhan oksigen terlarut dalam air

yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mengurai senyawa organik. Peningkatan nilai BOD yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh senyawa organik yang terkandung dalam sampel limbah cair laboratorium telah habis dikonsumsi sehingga mikroorganisme kehabisan makanan lalu mengalami kematian yang kemudian ikut terukur sebagai BOD (Rizkia Widyawati et al., 2015). Penambahan V-notch pada zona outlet bertujuan untuk mengendalikan kontak antara udara dengan air baku. Proses kontak dengan udara tersebut akan mempengaruhi mikroorganisme sehingga kadar parameter BOD dapat menurun (Santoso, 2018).

Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

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

- a. Pengendapan Tipe I (*Free Settling*)
- b. Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*)
- c. Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*)
- d. Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*)

Bentuk bak Sedimentasi :

a. Segi empat (*Rectangular*)

Bentuk bak rectangular seringkali digunakan pada instalasi air dengan kapasitas yang besar. Pada bak ini, air mengalir secara horizontal dari saluran masuk menuju outlet, sementara partikel akan mengendap kebawah.

Bentuk kolam yang memanjang sesuai dengan arah aliran akan memperkecil kemungkinan terjadinya aliran pendek, bentuk hidraulika juga lebih baik karena tampang alirannya cukup seragam di sepanjang zona pengendapan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa aliran air dalam bak pengendap relative konstan, sehingga proses pengendapan partikel tidak terganggu.

Namun demikian, bentuk ini memiliki kelemahan yang panjangnya peluapan karena ukurannya kurang lebar, sehingga laju peluapan nyata menjadi terlalu besar dan menyebabkan gangguan pada bagian akhir kolam pengendapan. Untuk mengatasi hal ini, maka ambang peluapan harus diperpanjang, misalnya dengan menambahkan kisi-kisi saluran peluapan di depan saluran keluar. (Kamulyan, 1997)

b. Lingkaran (*Circular*)

Bentuk bak circular umumnya 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.

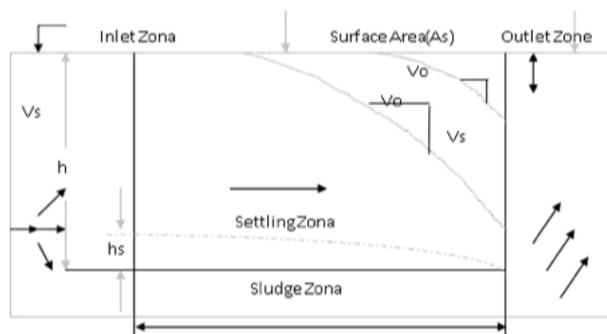
Pada kapasitas yang sama, kolam pengendapan berbentuk lingkaran ini kemungkinan terjadinya aliran pendek (*short-circuiting*) lebih besar dari kolam pengendapan berbentuk segi empat (*Rectangular*), terutama ambang batas peluapan yang tidak setara dapat menyebabkan aliran air hanya menuju satu sisi tertentu saja. Bentuknya secara hidraulika kurang baik karena tampang alirannya tidak seragam, sehingga kecepatan alirannya tidak konstan. Karena itu timbul kesulitan dalam pengontrolan kecepatan aliran, semakin besar dimensi bangunan maka pengontrol kecepatan menjadi lebih sulit

Pada kolam pengendapan berbentuk lingkaran ini memiliki kelemahan panjang peluapan hampir tidak pernah dijumpai karena ambang peluapannya dibangun sepanjang lingkaran keliling. Namun sering dijumpai panjang peluapan agak berlebihan, sehingga aliran melewati ambang peluapan berupa aliran yang sangat tipis. Untuk mengatasi hal ini maka ambang peluapan harus diperpendek dengan cara ambang peluapan yang sudah berbentuk seperti huruf V (V-notch) atau seperti huruf U (U-notch). Keuntungan lainnya dari kolam pengendapan berbentuk lingkaran ialah bagaimana belajar lumpur lebih sederhana dengan scrapper yang bergerak memutar dan Pemeliharaan lebih mudah (Kamulyan, 1997)

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

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

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



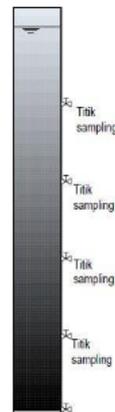
Gambar 2. 15 Zona bak sedimentasi

Engineering Design) Dimana pada setiap zona terjadi proses-proses sebagai berikut :

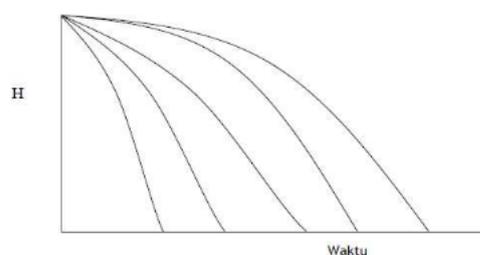
- Zona Inlet = Terjadi distribusi aliran yang menuju zona settling ($\pm 25\%$ panjang bak)

- Zona Settling = Terjadi proses pengendapan yang sesungguhnya
- Zona Sludge = Sebagai ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya tergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur. Untuk partikel 75% mengendap pada 1/5 volume bak.
- Zona Outlet = Pada zona ini dihasilkan air yang jernih tanpa suspensi yang ikut terbawa.

Kecepatan pengendapan partikel tidak bisa ditentukan dengan persamaan Stoke's karena ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap di uji dengan column setting test dengan multiple withdraw ports. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik.



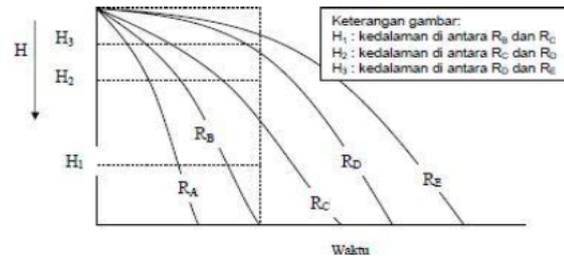
Gambar 2. 16 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2. 17 Grafik Iso-removal

Grafik isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut.

Dapat menentukan kedalaman H1, H2, H3.



Gambar 2. 18 Penentuan Kedalaman H dan seterusnya

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

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

Grafik isoremoval juga dapat digunakan untuk menentukan lamanya waktu pengendapan dan surface loading atau overflow rate bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang dilakukan adalah :

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu, minimal sebanyak tiga variasi waktu. (mengulangi langkah di atas minimal dua kali)
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan waktu pengendapan (sebagai sumbu x)
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (sebagai sumbu y) dengan overflow rate (sebagai sumbu x)

Kedua grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (td) dan overflow rate (Vo) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan eksperimen di laboratorium (secara batch). Nilai ini dapat digunakan dalam mendesain bak pengendap (aliran kontinu) setelah dilakukan penyesuaian, yaitu dikalikan dengan faktor scale up. Untuk waktu detensi,

faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 1,75 dan untuk overflow rate, faktor scale up yang digunakan pada umumnya adalah 0,65. (Reynold dan Richards,1996). Ada dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan :

a. Horizontal - flow Sedimentation

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

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

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

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

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

b. Upflow Sedimentation

Bangunan tipe ini biasanya digunakan bila debit air konstan dan kualitas kekeruhan tidak lebih dari 900 NTU. Kelemahan dari bangunan ini adalah tidak

bisa digunakan bila kapasitasnya berlebih dan memerlukan tenaga ahli untuk mengoperasikannya. Bila dalam suatu bangunan pengolahan air lahannya terbatas bisa digunakan tipe ini untuk bak sedimentasinya karena lahan yang diperlukan untuk bangunan ini relatif kecil.

2.2.8 Filtrasi

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

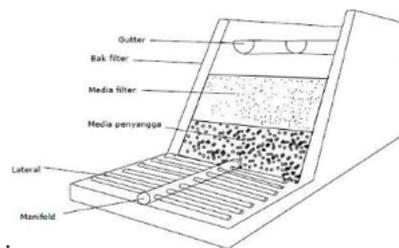
Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang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

Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah:

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

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukurannya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. Namun jika ukuran partikel terlalu kecil (contohnya: partikel koloid dan bakteri) akan lebih sulit untuk dihilangkan karena akan lebih

mudah lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Namun dapat juga digunakan oleh partikel- partikel flok yang belum seratus persen terendapkan pada bak sedimentasi untuk mengendap pada lapisan kerikil ini. Pada gambar 2.21 dapat dilihat bagian-bagian filter



Gambar 2. 19 Bagian Bagian Filter

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 $m^3/m^2.hr$ (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 $m^3/m^2.hr$). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45-0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses backwash pada rapid sand filter berbeda dengan slow sand filter. Pada rapid sand filters waktu backwash ditentukan dari head loss filter saat itu.

Keuntungan menggunakan rapid sand filters adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika

dibandingkan dengan slow sand filters. Sedangkan kekurangan dari rapid sand filters adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, 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:

$$UC = 1,3 - 1,7$$

$$ES = 0,45 - 0,7 \text{ mm}$$

Untuk dual media:

$$UC = 1,4 - 1,9$$

$$ES = 0,5 - 0,7 \text{ mm}$$

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 2.7

Tabel 2. 7 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan pencucian Antar Saringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 - 11	6 - 11
2	Pencucian : Sistem pencucian Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antara dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	Tanpa/dengan blower & atau <i>Surface wash</i> 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50	Tanpa/dengan blower & atau <i>Surface wash</i> 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 - 50
3	Dasar filter Lapisang penyangga dari atas ke bawah Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	 80 – 100 2- 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15	 80 – 100 2- 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15

Kedalaman(mm) ukuran butir (mm)	80 – 150	80 – 150
Filter Nozzle	15 – 30	15 – 30
Lebar slot nozzle (mm)	< 0,5	< 0,5
Presentase luas slot nozzle terhadap luas filter (%)	>4%	>4%

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 2.8.

Tabel 2. 8 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai / Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m ²
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Effective size 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran

	utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20 – 60 hari
Metode pembersihan	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2 – 0,6% dari air tersaring
Pengolahan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif rendah
Biaya depresiasi	Relatif rendah

3. Filter Bertekanan

Filter bertekanan (*pressure filter*) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter gravitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada filter cepat dan filter lambat, aliran air melewati media berbutir hanya didorong oleh tekanan atmosfer atau sistem aliran terbuka. Pada filter

bertekanan, diperlukan pendorong tekanan yang lebih besar. Oleh karena itu tangki dirancang dengan sistem tertutup dan menggunakan pompa untuk menambah tekanan dalam tangki.

Filter bertekanan terdiri atas tangki tertutup, media filter, media penyangga, dan sistem underdrain. Kriteria filter bertekanan terdapat pada tabel 2.9

Tabel 2. 9 Kriteria Filter Bertekanan

No	Unit	Nilai / Keterangan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	12 – 33
2	Pencucian: Sistem pencucian	Tanpa atau dengan

	Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antara dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	blower & atau <i>surface wash</i> 72 – 198 - - 30 – 50
3	Media pasir Tebal (mm) Single media Media ganda Ukuran efektif, ES (mm) Koefisien keseragaman, UC Berat jenis (kg/L) Porositas Kadar SiO ₂	 300 – 700 600 – 700 300 – 600 - 1,2 – 1,4 2,5 – 2,65 0,4 >95%
4	Media antransit Tebal (mm) UC Berat jenis (Kg/L) Porositas	400- 500 1,2 – 1,8 1,5 1,35 0,5
5	Dasar Filter Filter Nozzle	 < 0,5

Lebar slot nozzle (mm)	>4%
Presentase luas slot nozzle terhadap luas filter (%)	

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 tereksansi. Umumnya tinggi sebesar 15 sampai 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit.

2.2.9 Disinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, yaitu air harus bebas dari mikroorganisme patogen. Disinfeksi merupakan proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Disinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme, yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme. Sedangkan metode disinfeksi 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

Macam – macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah :

1. Waktu kontak
2. Konsentrasi desinfeksi
3. Jumlah mikroorganisme
4. Temperature air
5. pH
6. Adanya senyawa lain dalam air

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

1. Desinfeksi dengan Ozon

Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan kerusakan 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

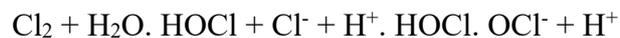
oksigen splitting ke bentuk atom oksigen radikal bebas. Atom-atom ini akan bergabung membentuk O₃ (ozon).

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 germicidal adalah UV-AC, dengan panjang gelombang 280-220 nm.

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

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



4. Desinfeksi dengan gas klor

Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air (Aji, 2015).

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).

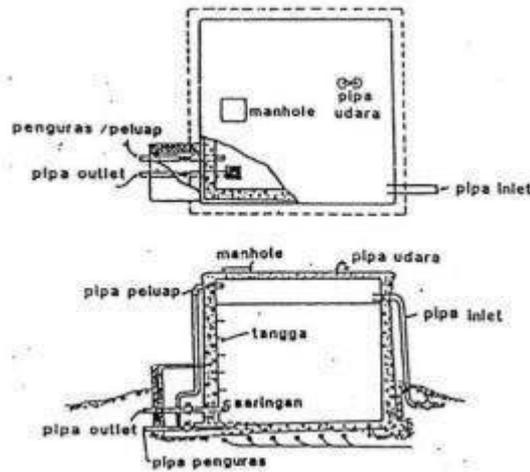
Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl_2) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit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

2.2.10 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. 20 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. 21 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. 22 Reservoir Tangki Baja

2. Reservoir Beton Cor

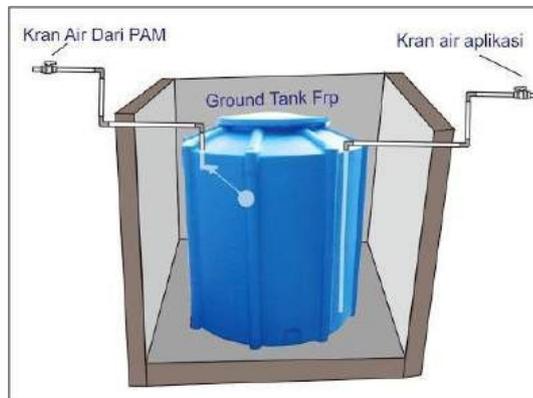
Tangki dan Reservoir beton pertama kali dibuat tanpa penutup. Perkembangan selanjutnya konstruksi ini memakai penutup dari kayu atau beton. Dengan tutup ini maka masalah sanitasi akan terselesaikan. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Kelemahan umum dari bahan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



Gambar 2. 23 Reservoar Beton Cor

3. Reservoar *Fiberglass*

Penggunaan fiberglass sebagai bahan untuk membuat Reservoar 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.



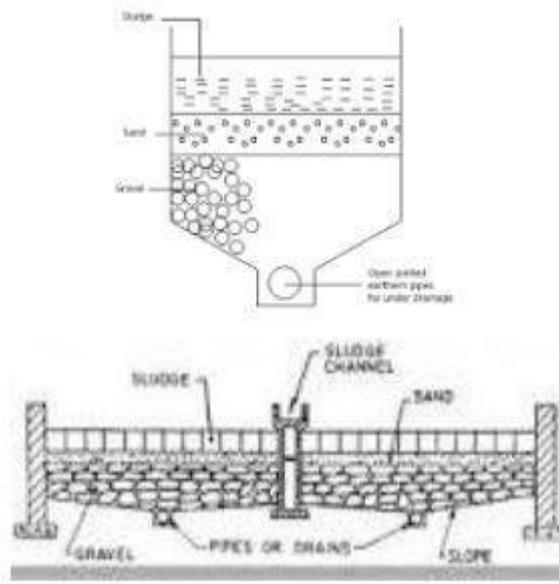
Gambar 2. 24 Reservoar *Fiberglass*

2.2.11 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 didasar 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. 25 Bangunan Sludge Drying Bed

Pipa inlet pada bangunan sludge drying bed harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran sludge dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi sludge drying bed guna mengurangi kecepatan alir saat sludge memasuki bangunan pengering. (Metcalf & Eddy,2003)

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

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reactor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor sludge drying bed dibangun pada jarak minimal 100

m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau. (Metcalf & Eddy,2003)

Daya tampung sludge drying bed dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan sludge / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun (kg/m².tahun). Data tipikal untuk variasi sludge / lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini.

Tabel 2. 10 Kebutuhan Luas Lahan Tipikal untuk Reaktor SDB

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

2.2.12 Persen Removal

Berikut adalah persen removal pada setiap unit bangunan pengolahan air yang akan digunakan:

Tabel 2. 11 Persen Removal pada setiap unit bangunan pengelolaan Air

Unit Pengolahan	Parameter Pencemar	Persen Removal (%)	Sumber
Aerasi	BOD	20% - 90%	Said, Nusa Idaman (2017). Teknologi Pengolahan Air limbah. Jakarta : Erlangga
	Fe	60% - 90%	<i>Droste, 1997 , Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment Chapter 9, hal 225</i>
	Mn	0 – 60%	
Sedimentasi	TSS	80% – 90%	<i>Metcalf and Eddy, Wasterwater Engineering</i>

			<i>Treatment and Reuse 4th edition, hal 497</i>
Filtrasi	Fe	90% - 100%	<i>Droste, 1997 , Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment Chapter 9, hal 225</i>
	Mn	20% - 100%	<i>Reynold and Richard 2nd edition, Unit Operation and Process in Enviromental Engineering hal 316</i>

2.2.13 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.

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

1. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada pintu
- b. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus.

c. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

d. Kehilangan tekanan pada perpipaan

Rumus yang digunakan : $L \times S$

e. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan meng 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.