

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Industri

Penyediaan air bersih, selain kuantitas, kualitasnya pun harus memenuhi standar yang berlaku. Untuk ini perusahaan air minum selalu memeriksa kualitas air bersih sebelum didistribusikan kepada pelanggan sebagai air minum. Air minum yang ideal seharusnya jernih, tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa. Air minum pun seharusnya tidak mengandung kuman patogen dan segala makhluk yang membahayakan kesehatan manusia. Tidak mengandung zat kimia yang dapat merubah fungsi tubuh, tidak dapat diterima secara estetis dan dapat merugikan secara ekonomis. Air itu seharusnya tidak korosif, tidak meninggalkan endapan pada seluruh jaringan distribusinya (Effendi, 2003).

Dalam hal air bersih, sudah merupakan praktek umum bahwa dalam menetapkan kualitas dan karakteristik dikaitkan dengan standart baku mutu air (standar kualitas air). Untuk memperoleh gambaran yang nyata tentang karakteristik air baku, seringkali diperlukan pengukuran sifat-sifat air atau biasa disebut parameter kualitas air, yang beraneka ragam. Formulasi-formulasi yang dikemukakan dalam angka-angka standar tentu saja memerlukan penilaian yang kritis dalam menetapkan sifat-sifat dari tiap parameter kualitas air (Slamet, 1994). Standar kualitas air adalah baku mutu yang ditetapkan berdasarkan sifat-sifat fisik, kimia, radioaktif maupun bakteriologis yang menunjukkan persyaratan kualitas air tersebut. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 20 Tahun 1990 Tentang pengendalian pencemar air menjadi beberapa golongan menurut peruntukannya. Adapun penggolongan air menurut peruntukannya adalah berikut ini:

- Golongan A : Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung, tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- Golongan B : Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum.
- Golongan C: Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.

- Golongan D: Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha di perkotaan, industri, dan pembangkit listrik tenaga air.

2.2 Karakteristik yang Terkandung dalam Air Baku

Adapun beberapa parameter - parameter yang biasanya digunakan untuk menentukan kualitas air adalah sebagai berikut:

2.2.1. Parameter Fisik

Sifat-sifat fisik air adalah relatif mudah untuk diukur dan beberapa diantaranya mungkin dengan cepat dapat dinilai oleh orang awam.

a. Bau

Air minum yang berbau selain tidak estetik juga tidak akan disukai oleh masyarakat. Bau air dapat memberikan petunjuk akan kualitas air. Misalnya, bau amis dapat disebabkan oleh tumbuhan algae (Effendi, 2003).

b. Rasa

Air minum biasanya tidak memberi rasa / tawar. Air yang tidak tawar dapat menunjukkan kehadiran berbagai zat yang dapat membahayakan kesehatan. Rasa logam/ amis, rasa pahit, asin, dan sebagainya. Efeknya tergantung pula pada penyebab timbulnya rasa tersebut (Effendi, 2003).

c. Suhu

Suhu air sebaiknya sejuk atau tidak panas terutama agar: Tidak terjadi pelarutan zat kimia yang ada pada saluran/ pipa, yang dapat membahayakan kesehatan. Menghambat reaksi reaksi biokimia di dalam saluran/ pipa. Mikroorganisma patogen tidak mudah berkembang biak, dan Bila diminum dapat menghilangkan dahaga (Effendi, 2003).

d. Warna

Air minum sebaiknya tidak berwarna untuk alasan estetis dan untuk mencegah keracunan dari berbagai zat kimia maupun mikroorganisme yang berwarna. Warna dapat disebabkan adanya tannin dan asam humat yang terdapat secara alamiah di air rawa, berwarna kuning muda, menyerupai urine, oleh karenanya orang tidak mau menggunakannya. Selain itu, zat organik ini bila terkena khlor dapat membentuk senyawa- senyawa khloroform yang beracun. Warna pun dapat berasal dari buangan industry (Effendi, 2003).

e. Kekeruhan

Material penyebab kekeruhan adalah silt/clay atau bahan organik yang berasal dari limbah, mikroorganisme seperti algae. Pada musim kemarau, air sungai lebih jernih bila dibandingkan pada saat musim hujan (meskipun belum tentu lebih mudah dijernihkan dengan tawas/alum) kekeruhan maksimum untuk air minum menurut USEPA adalah 10 mg/l.

Kekeruhan air disebabkan oleh adanya zat padat yang tersuspensi, baik yang bersifat anorganik maupun yartg organik. Zat anorganik, biasanya berasal dari lapukan batuan dan logam, sedangkan yang organik dapat berasal dari lapukan lapukan tanaman atau hewan. Buangan industry dapat juga menyebabkan sumber kekeruhan. Zat organik dapat menjadi makanan bakteri, sehingga mendukung perkembangbiakannya. Bakteri ini juga merupakan zat tersuspensi, sehingga pertambahannya akan menambah pula kekeruhan air. Demikian pula dengan algae yang berkembang biak karena adanya zat hara N, P, K akan menambah kekeruhan air. Air yang keruh sulit didesinfeksi, karena mikroba terlindung oleh zat tersuspensi tersebut. Hal ini tentu berbahaya bagi kesehatan, bila mikroba itu patogen (Effendi, 2003).

f. Jumlah zat padat tersuspensi TSS (Total Suspended Solid)

Materi yang tersuspensi adalah materi yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pada molekul/ 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 inipun 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 kedalam 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 dimuara sungai dan bereaksi dengan air yang asiri, maka baik koloid maupun zat terlarut dapat mengendap di muara muara dan proses inilah yang menyebabkan terbentuknya delta delta. Dapat dimengerti, bahwa pengaruhnya terhadap kesehatanpun menjadi tidak langsung.

2.2.2 Parameter Kimiawi

Karakteristik kimia cenderung lebih khusus sifatnya dibandingkan dengan karakteristik fisis dan oleh karena itu lebih cepat dan tepat untuk menilai sifat-sifat air dari suatu sampel.

a. Nitrat/Nitrogen

Air permukaan yang tercemar limbah domestik atau limbah industri amoniak bisa mengandung nitrat tinggi karena proses nitrifikasi. Beberapa bentuk senyawa nitrogen yaitu nitrogen organik (dalam bentuk protein, asam amino dan urea), nitrogen amoniak (seperti garam ammonium dan amoniak), nitrogen nitrit, dan nitrogen nitrat, melalui reaksi kimiawi. Air baku dengan kadar org-N dan ammonia-N yang tinggi namun sedikit

sekali $\text{NO}_3^- \text{N}$, menunjukkan adanya limbah yang baru saja dibuang di badan air (Adisuasono et al., 2014).

b. Timbal (Pb)

Air dengan kadar 0,3-0,5 mg/l Pb menyebabkan keracunan pada manusia. Batas maximum pada kadar Pb dalam air minum adalah 0,1 mg/l. umumnya Pb di dalam air terjadi karena bahan penambal sambungan pipa lama (Permenkes 492/MENKES/PER/2010).

c. Fluor (F)

Fluor (F) merupakan salah satu unsur yang melimpah pada kerak bumi. Fluor adalah halogen yang sangat reaktif sehingga selalu terdapat dalam bentuk senyawa. Unsur ini ditemukan dalam bentuk ion fluorida (F^-). Fluor yang berikatan dengan kation monovalen, misalnya NaF, AgF, dan KF bersifat mudah larut; sedangkan fluor yang berikatan dengan kation divalen, misalnya CaF_2 dan PbF_2 bersifat tidak larut dalam air.

Sumber fluorida di alam adalah *fluorspar* (CaF_2), *cryolite* (Na_3AlF_6), dan *fluorapatite*. Keberadaan fluorida juga dapat berasal dari pembakaran batu bara. Fluorida banyak digunakan dalam industri besi baja, gelas, pelapisan logam, aluminium, dan pestisida (Eckenfelder, 1989).

d. Alkalinity / Acidity

Air pada umumnya bersifat basa (alkalin) dengan pH sedikit diatas netral. Penyebabnya adalah kalsium/ kalium/ atau magnesium karbonat/ bikarbonat. Pada umumnya, *alkalinity/acidity* dinyatakan dalam mg/l CaCO_3 . *Alkalinity* penting dalam proses koagulasi. Jenis koagulan harus tepat agar reaksi sempurna. Bila *alkalinity* di dalam air baku kurang, maka diperlukan tambahan kapur atau Na_2CO_3 . Namun kelebihan *alkalinity* dapat mengganggu proses koagulasi.

Alkalinity terkait dengan keberadaan anion bikarbonat, karbonat dan hidroksida. Pada umumnya *alkalinity* alami terkait dengan anion

bikarbonat, sebagai proses pelarutan kapur dalam air. Penyebab acidity adalah CO_2 , baik secara alami atau karena proses pelunakan. CO_2 dinyatakan dalam mg/l CaCO_3 yang diperlukan untuk netralisasi asam karbonat. CO_2 bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H_2CO_3). dalam air baku kurang, maka diperlukan tambahan kapur atau Na_2CO_3 . Namun kelebihan alkalinity dapat mengganggu proses koagulasi.

Alkalinity terkait dengan keberadaan anion bikarbonat, karbonat dan hidroksida. Pada umumnya *alkalinity* alami terkait dengan anion bikarbonat, sebagai proses pelarutan kapur dalam air. Penyebab *acidity* adalah CO_2 , baik secara alami atau karena proses pelunakan. CO_2 dinyatakan dalam mg/l CaCO_3 yang diperlukan untuk netralisasi asam karbonat. CO_2 bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H_2CO_3).

e. pH

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, CO_2 , 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 CO_2 terutama pada siang hari ketika proses fotosintesis sedang berlangsung.

f. Kesadahan

Kesadahan air adalah kandungan-kandungan mineral tertentu di dalam air, pada umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat penyebab utama dari kesadahan sementara. Air yang mengandung ion atau senyawa-senyawa tersebut dapat dihilangkan dengan pemanasan air, sehingga air tersebut terbebas dari ion (Ca) dan (Mg) (Pujriani, 2008).

Kesadahan air tetap adalah air sadah yang mengandung anion selain anion bikarbonat berupa senyawa kalsium klorida (CaCl_2), kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), kalsium sulfat (CaSO_4), magnesium klorida (MgCl_2).

g. Besi dan Mangan

Besi adalah salah satu dari lebih unsur-unsur penting dalam air permukaan dan air tanah. Sifat kimia perairan dari besi adalah sifat redoks, pembentukan kompleks, metabolisme oleh mikroorganisme, dan perairan dari besi antara fasa dan fase padat yang mengandung besi karbonat, hidroksida dan sulfide (Achmad, 2004).

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.

h. Klorida

Unsur klor dalam air terdapat dalam bentuk ion klorida (Cl^-). Ion klorida adalah salah satu anion anorganik utama yang ditemukan di perairan alami. Klorida biasanya terdapat dalam bentuk senyawa natrium klorida (NaCl), kalium klorida (KCl) dan kalsium klorida (CaCl_2) (Hefni Effendi, 2003).

Kelebihan garam-garam klorida ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air yang disebabkan oleh tingginya salinitas. Air ini tidak layak untuk pengairan dan keperluan rumah tangga (Achmad, R. 2004).

i. Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen (DO) adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesis dan absorpsi atmosfer atau udara. DO di suatu perairan sangat berperan dalam proses penyerapan makanan oleh makhluk hidup dalam air. Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan mengamati beberapa parameter kimia seperti DO. Semakin banyak jumlah DO (*dissolved oxygen*), maka kualitas air semakin baik. Jika kadar oksigen terlarut yang terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap akibat degradasi anaerobik yang mungkin saja terjadi. Satuan DO dinyatakan dalam persentase saturasi (Salmin, 2000).

j. Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida 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).

k. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi atau banyaknya oksigen-oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO₂ dan H₂O.

2.2.3 Parameter Biologi

Analisis Bakteriologi suatu sampel air bersih biasanya merupakan parameter kualitas yang paling sensitif. Dalam parameter mikrobiologis ini

hanya dicantumkan koliform tinja dan total koliform. Sebetulnya kedua macam parameter ini hanya berupa indikator bagi berbagai mikroba yang dapat berupa parasit (*protozoa*, metazoa, tungau), bakteri patogen dan virus.

a. Bakteri

Pengukuran kualitas air bersih secara bakteriologis dilakukan dengan melihat keberadaan organisme golongan *Coli* (*Coliform*) sebagai indikator karena mudah dideteksi dalam air, lebih tahan hidup di air sehingga dapat dianalisis keberadaannya di dalam air yang bukan merupakan medium yang ideal untuk pertumbuhan bakteri (Marsono, 2009).

Walaupun hasil pemeriksaan bakteri *Coli* tidak dapat secara langsung menunjukkan adanya bakteri patogen, tetapi adanya bakteri *Coli* dalam air dapat digunakan sebagai indikator adanya jasad patogen (Marsono, 2009). Salah satu bakteri golongan *Coliform* adalah bakteri *Escherichia coli*.

b. Virus

Virus merupakan mikroorganisme yang lebih kecil dari pada bakteri yang memerlukan media coli untuk hidup dan beraktifitas. Yang perlu diwaspadai adalah virus penyebab penyakit poliomyelitis, infectious hepatitis, dan kemungkinan gastroenteritis.

c. Algae / Ganggang

Tumbuhan bersel tunggal dengan berbagai bentuk dan ukuran ini hidup dalam air yang tenang/ tergenang dengan kadar nutrient yang memadai. Beberapa jenis *algae* membentuk filament yang menimbulkan kekeruhan/ warna, sehingga menyebabkan filter cepat buntu. Akibat buruk yang ditmbulkannya adalah rasa dan bau dalam air minum.

Ada beberapa jenis *algae*, yaitu *chlorophycene* (ganggang hijau), *cyanophyceae* (ganggang biru) dan *diatomae*. *Algae* memerlukan cahaya matahari yang cukup untuk hidup. Sumner makanan utama *algae* adalah

bahan organik senyawa nitrogen dan fosfor serta CO₂. Algae tidak menyebabkan penyakit pada manusia. Bau/ rasa yang ditimbulkannya berasal dari minyak dari pembuangan limbah organik atau sel setelah kematiannya. Pengendalian populasi dengan pemberian CuSO₄.

d. Protozoa

Protozoa merupakan binatang bersel tunggal, berinti sejati (*eukarotik*) dan tidak memiliki dinding sel. Bentuk sel dan ukuran tubuhnya *protozoa* sangat bervariasi. Habitat *protozoa* hidup di air atau di tempat yang basah yang pada umumnya hidup bebas dan terdapat di lautan, lingkungan air tawar, atau daratan. Klasifikasi *protozoa* dibagi menjadi 4 kelas, yaitu rhizopoda (*sarcodina*), flagellata (*mastigophora*), ciliata (*ciliophora*), *sporozoa*.

Protozoa yang perlu diwaspadai adalah dari jenis endamoeba dapat mengganggu kesehatan manusia yang menyebabkan penyakit disentri dan diare. Disinfeksi adalah memusnahkan mikro-organisme yang dapat menimbulkan penyakit. Disinfeksi merupakan benteng manusia terhadap paparan mikro-organisme patogen penyebab penyakit, termasuk di dalamnya virus, bakteri dan protozoa parasit (Bitton, 1994).

e. Fungi / jamur

Jamur merupakan tumbuhan yang tidak mempunyai klorofil sehingga sehingga dapat hidup tanpa memerlukan cahaya. Jamur dapat bertahan hidup dengan lingkungan yang memiliki kelembapan berlebihan, kurangnya ventilasi, atau suhu yang rendah sehingga jamur dapat hidup dalam pipa distribusi air minum dengan debit aliran air yang rendah dengan jangka waktu yang lama. Jamur yang mati pada dalam pipa dapat menimbulkan bau tidak sedap. Proses pemberian desinfeksi dapat memusnahkan adanya jamur.

f. Actinomycetes

Actinomycetes adalah organisme tanah yang memiliki sifat-sifat umum yang dimiliki oleh bakteri dan jamur tetapi juga mempunyai ciri khas yang cukup berbeda yang membatasinya menjadi satu kelompok yang jelas berbeda (Rao,1994). *Actinomycetes* menyebabkan air minum berbau tanah, dan lumpur. Apabila air yang memiliki bau dan rasa tidak sedap maka air tersebut tidak baik untuk dikonsumsi oleh manusia.

g. Cacing

Pada umumnya konsumen air mengeluh tentang cacing kecil di dalam air yang berwarna merah atau abu-abu di dasar tendon atau bak mandi. Jenis yang merah merupakan larva lalat *chironomus*. Cacing jenis ini tidak menimbulkan rasa/ bau pada air minum. Pada umumnya, pengendalian dilakukan dengan menguras dan membersihkan unit pengolahan yang mengandung larva dalam jumlah besar tersebut. Cacing jenis ini tidak mati hanya dengan klorinasi, sehingga sulit dalam pengendaliannya (Wahyono Hadi, 2012).

2.3 Bangunan Pengolahan Air Buangan

2.3.1 Intake

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

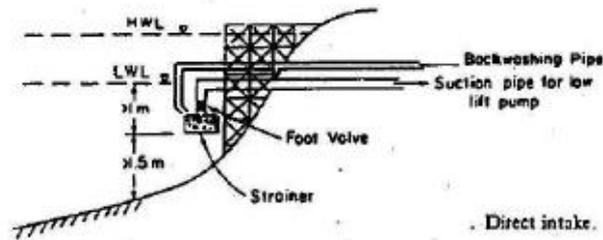
1. Penempatan bangunan penyadap (*intake*) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);

2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (*up-lift*)
4. Penempatan bangunan pengambilan 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;

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.



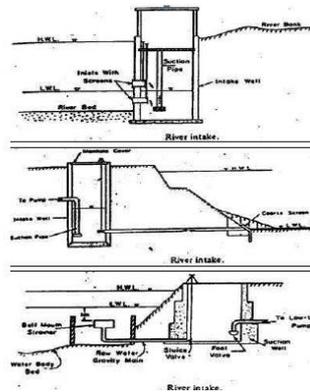
Gambar 2 1 Direct Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

2. Bangunan Penyadap Tidak Langsung (Indirect Intake)

a. River Intake

Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Jenis ini dinilai lebih ekonomis untuk sumber air dari sungai yang memiliki perbedaan ketinggian muka air di musim yang berbeda.

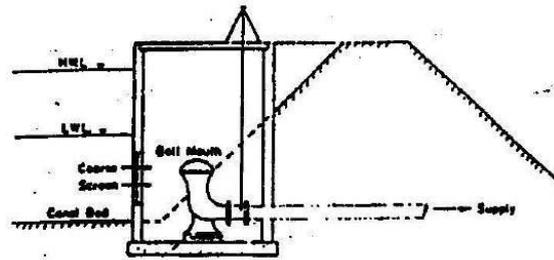


Gambar 2 2 River Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

b. Canal Intake

Untuk air dari kanal. Dinding chamber terbuka sebagian ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya

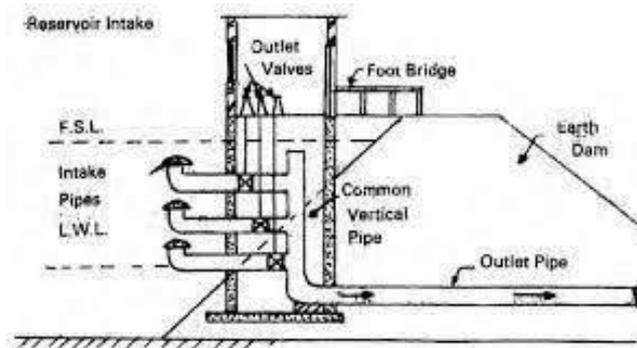


Gambar 2 3 Canal Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

c. Reservoir intake

Untuk air yang berasal dari dam/bendungan/waduk, dengan menggunakan Menara intake yang dibuat terpisah dengan dam/bendungan/waduk dan diletakkan pada bagian hulu. Inlet diletakkan pada beberapa titik Menara untuk mengatasi perubahan ketinggian permukaan air.



Gambar 2 4 Reservoir Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

2.3.2 Sedimentasi

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

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

Pengendapan pada bak sedimentasi terbagi menjadi empat tipe. Pembagian ini berdasar pada konsentrasi partikel dan kemampuan partikel untuk berinteraksi.

- 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*)

Pada tiap bangunan sedimentasi, terdapat 4 zona/bagian

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

Proses yang terjadi untuk tiap bagian adalah,

1. Zona Inlet

Distribusi aliran yang akan dialirkan ke zona settling

2. Zona Settling

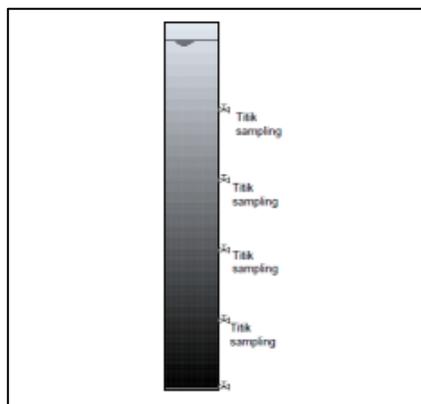
Proses pengendapan sesungguhnya

3. Zone Sludge

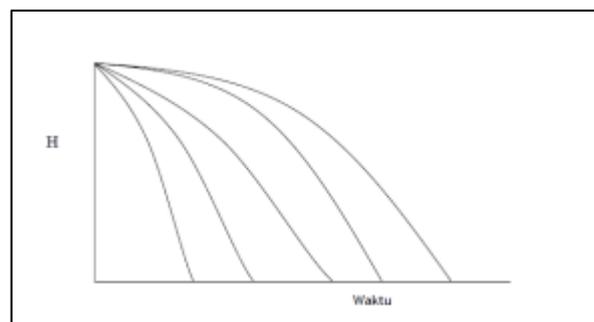
Ruang lumpur, dimana konfigurasi dan kedalamannya bergantung pada metode pengurasan dan jumlah endapan lumpur.

4. Zona Outlet

Dihasilkan air jernih tanpa suspensi yang terbawa aliran. Kecepatan pengendapan partikel tidak dapat ditentukan dengan persamaan stoke's dikarenakan ukuran dan kecepatan pengendapan tidak tetap. Besarnya partikel yang mengendap di uji dengan column setting test dengan multiple withdraw ports. Melalui penggunaan kolom pengendapan tersebut, sampling dilakukan pada tiap port dengan interval waktu tertentu dan data removal partikel diplot pada grafik.

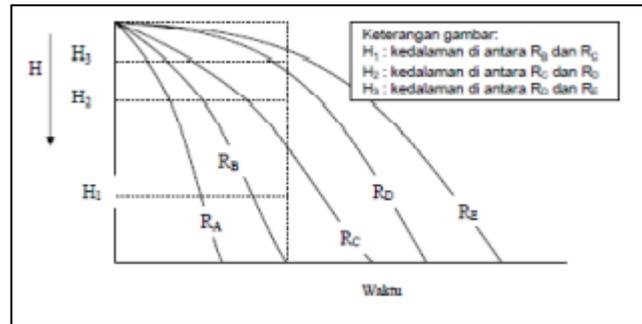


Gambar 2 5 Kolom Test Sedimentasi Tipe II



Gambar 2 6 Grafik Isoremoval

Grafik Isoremoval dapat digunakan untuk mencari besarnya penyisihan total pada waktu tertentu. Titik garis vertikal dari waktu yang ditentukan tersebut dapat digunakan untuk menentukan kedalaman H1, H2 dan H3.



Gambar 2 7 Penentuan Kedalaman H dan Seterusnya

Besar 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 isothermal juga dapat digunakan untuk menentukan lama waktu pengendapan serta surface loading atau overflow rate bila diinginkan efisiensi pengendapan tertentu. Langkah yang perlu dilakukan adalah:

1. Menghitung penyisihan total pada waktu tertentu dengan minimal sebanyak tiga variasi waktu.
2. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (untuk sumbu y) dengan waktu pengendapan (untuk sumbu x)
3. Membuat grafik hubungan persen penyisihan total (Untuk sumbu y) dengan overflow rate (untuk 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: *Horizontal- Flow Sedimentation Design* yang baik pada bangunan ini dapat mengurangi lebih dari 95% dari kekeruhan air. Bentuknya yang persegi panjang yang tanpa menggunakan alat pengambil lumpur mekanik mempunyai beberapa keuntungan misalnya, mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan kondisi air seperti perubahan kekeruhan, laju aliran yang meningkat ataupun debit air yang meningkat secara tiba-tiba. Sedangkan pada bentuk yang *circular* biasanya menggunakan pengambil lumpur mekanik.

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

- Dapat menyesuaikan dengan variasi kualitas dan hidrolis air
- Prosesnya memberi bentuk yang dapat direncanakan sesuai dengan operasional dan kondisi iklim.
- Biaya konstruksi rendah
- Operasional dan perawatan yang relatif mudah.

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

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.

Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah semakin besar (Sugiharto, 2008). Pengotoran air limbah mengandung

bahan-bahan organik, merusak kehidupan air serta menimbulkan bau. Salah satu cara untuk menurunkan polutan yaitu dengan teknologi pengolahan yang dapat dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia untuk menetralkan keadaan dan meningkatkan pengurangan dari partikel kecil yang tercampur dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk mengurangi bahan organik, proses ini dikenal dengan proses koagulasi yang bertujuan untuk memisahkan koloid yang sangat halus di dalam air limbah, menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat diendapkan, disaring atau diapungkan. Dengan berkurangnya bahan organik terlarut akan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut sehingga nilai BOD akan menurun. Menurut Metcalf & Eddy (2003), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50 – 80 %.

2.3.3 Netralisasi

Proses ini bertujuan untuk menetralkan nilai pH pada air baku menjadi netral agar proses pengolahan pada unit selanjutnya dapat berlangsung dengan baik dan efisien. Umumnya, bahan kimia yang digunakan adalah asam sulfat/asam klorida untuk menetralkan air baku yang bersifat alkali. Untuk air baku yang bersifat asam, digunakan soda abu dan kapur tohor. Penetralan dilakukan pada bak pencampur dengan waktu detensi 5-30 menit, dan dilengkapi dengan kontroler pH.

2.3.4 Aerasi

Merupakan proses penambahan udara atau oksigen ke dalam air dengan membawa udara sehingga mengalami kontak dengan air dengan cara menyemburkan air ke udara, atau dengan memberi gelembung udara yang halus dan membiarkan udara tersebut naik melalui air.

Aerasi merupakan proses penambahan konsentrasi oksigen ke dalam air agar terjadi proses oksidasi biologis oleh mikroba. Dalam proses aerasi ini, perlu menggunakan alat yang bernama aerator. Prinsip kerja alat ini, adalah

menambahkan oksigen yang terlarut dalam air. Aerator berfungsi untuk memperbesar permukaan yang melakukan kontak antara air dengan udara.

Aerasi bertujuan untuk:

1. Menambahkan jumlah oksigen
2. Menurunkan jumlah karbon dioksida (CO_2)
3. Menghilangkan hidrogen sulfida (H_2S), metana (CH_4) dan berbagai senyawa organik lainnya yang bersifat volatile/menguap yang berkaitan untuk rasa dan bau.

Pengolahan air dengan metode aerasi diketahui bermanfaat untuk menghasilkan air minum yang baik. Aerasi telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan besi dan mangan yang tinggi. Ketika air mengandung besi dan mangan dalam konsentrasi yang tinggi, zat tersebut akan mempengaruhi rasa pada air, dan menimbulkan noda jika air tersebut digunakan untuk mencuci pakaian atau beras.

Melalui proses aerasi, oksigen yang berada di udara akan bereaksi dengan senyawa ferus dan mangan terlarut, sehingga senyawa berubah menjadi ferri (Fe) dan Mangan Oksida Hidrat yang tidak bisa larut. Setelah proses aerasi, akan dilanjutkan dengan pengendapan atau penyaringan.

Jenis proses aerasi diantaranya adalah,

a. *Waterfall Aerator* (Aerator Air Terjun)

Pengolahan dengan *waterfall aerator* menggunakan susunan yang sederhana tanpa memakan biaya maupun ruang yang besar.

Waterfall aerator memiliki 4-8 tray dimana pada bagian dasarnya diberi lubang dengan jarak 30-50 cm antar lubang. Air disebarakan pada permukaan *tray* melalui pipa berlubang dengan kecepatan aliran kurang lebih 0,02 m/dtk per m^2 permukaan *tray*. Tetesan air yang tersebar tersebut akan turun dan terkumpul pada *tray* selanjutnya.

b. *Cascade Aerator*

Aerator tipe ini memiliki 4-6 steps/tangga dengan ketinggian tiap tangga sekitar 30 cm, dengan ketebalan untuk kapasitas 0,01 m³/dtk per m². Untuk menaikkan tingkat efisiensi, dilakukan pengurangan Gerakan putaran atau turbulensi pada bagian tepi tangga. Keuntungan penggunaan *cascade aerator* adalah kehilangan tekanan yang rendah dan tidak perlu adanya pemeliharaan.

c. *Submerged Cascade Aerator*

Proses penangkapan udara pada aerasi tangga aerator terjadi saat air terjun dari lempengan ke lempengan trap yang membawanya. Kemudian oksigen dipindahkan dari gelembung udara ke dalam air. Besar ketinggian jatuh kira-kira 1,5 meter yang dibagi ke dalam 3-5 step. Kapasitas unit ini bervariasi, berkisar di antara 0,005 m³ dan 0,5 m³/dtk per meter luas.

d. *Multiple platform aerator*

Aerator jenis ini menggunakan prinsip yang sama dengan memanfaatkan lempengan untuk menjatuhkan air untuk mendapatkan kontak penuh antara udara dengan air.

e. *Spray Aerator*

Jenis ini terdiri dari beberapa unit penyemprot tak bergerak (*Stationary Nozzles*) yang dihubungkan dengan kisi lempengan, dimana air akan disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m/dtk.



Gambar 2 8 Spray Aerator

(Sumber: atlas-scientific.com)

Pada gambar terlihat *spray aerator* sederhana dimana air dikeluarkan ke atas yang kemudian turun ke bawah. Air dikeluarkan melalui batang pendek dari pipa yang terendam dengan panjang 25cm dan diameter 15-20 mm. Piringan melingkar ditempatkan pada bagian bawah tiap ujung pipa sehingga dapat terbentuk selaput tipis melingkar yang kemudian menyebar dalam bentuk tetesan halus.

f. Aerator Gelembung Udara (*Bubble Aerator*)

Proses aerasi dilakukan dengan menyemprotkan udara melalui dasar bak air. Pipa akan terendam pada dasar air, dan udara akan dikeluarkan melalui lubang pada pipa. Jumlah udara yang diperlukan untuk *bubble aerator* tidak banyak, kira-kira $0,3-0,5 \text{ m}^3 \text{ udara.m}^3$. Volume udara ini dapat ditingkatkan dengan proses penyedotan udara.



Gambar 2 9 Bubble Aerator

(Sumber: aquariustechnologies.com)

g. *Multiple Tray Aerator*

Unit ini terdiri dari rangkaian bak yang disusun bertumpuk seperti rak yang diberi lubang di bagian dasarnya. Air di distribusikan dari atas *tray* yang kemudian terdistribusi merata pada tiap *tray* yang kemudian akan terkumpul

pada bagian dasar *tray*. Pemerataan distribusi air pada tiap *tray* sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas yang maksimal. *Multiple Tray Aerator* memerlukan ventilasi yang cukup dan harus dijauhkan dari sumber pencemaran udara. Adanya pencemaran udara dapat mempengaruhi tingkat efisiensi proses aerasi.

2.3.5 Koagulasi-Flokulasi

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

Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men-destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012).

Tabel 2. 1 Macam-Macam Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium 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
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber: Sugiharto, 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. Faktor yang dapat mempengaruhi koagulan:

1. Pengaruh pH

Koagulan memiliki rentang efektifitas yang dipengaruhi pH air. Rentang/range koagulan juga dipengaruhi jenis koagulan yang digunakan.

2. Pengaruh temperature

Saat temperatur berada pada titik yang rendah, proses reaksi terjadi lebih lambat dan tingkat viskositas air menjadi lebih besar, maka flok akan lebih sukar untuk mengendap.

3. Dosis Koagulan

Air dengan tingkat kekeruhan yang tinggi memerlukan koagulan yang lebih banyak. Dosis koagulan yang terlalu banyak akan menimbulkan efek samping pada partikel yang mengakibatkan meningkatnya tingkat kekeruhan pada air.

4. Pengadukan

Proses pengadukan diperlukan agar proses tumbukan antara partikel untuk proses netralisasi menjadi lebih sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antar partikel yang telah netral sehingga akan terbentuk mikroflok. Pada proses koagulasi ini, dilakukan proses pengadukan cepat.

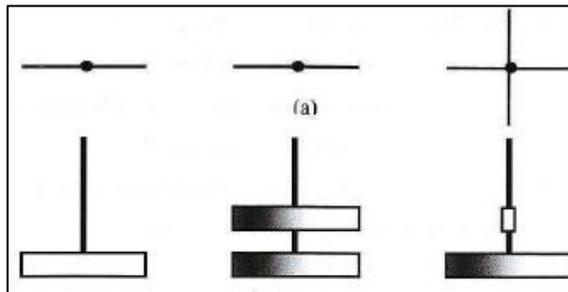
5. Pengaruh Garam

Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan bergantung dengan macam garam/ion serta konsentrasi yang diberikan. Semakin besar nilai valensi ion, pengaruhnya terhadap koagulan akan semakin besar. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak

dipengaruhi oleh anion dibandingkan dengan kation. Senyawa natrium, kalsium dan magnesium tidak memberi pengaruh yang signifikan. (Sutrisno, 1992)

Koagulasi, atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara pengadukan, yaitu secara mekanis, hidrolis dan pneumatik. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor listrik, poros pengaduk, dan alat pengaduk/impeller. Berdasarkan bentuknya, alat pengaduk terbagi menjadi 3 macam, paddle (pedal/dayung), turbine dan propeller. Faktor penting perancangan alat pengaduk mekanis adalah parameter pengadukan nilai G dan t_d atau waktu detensi.

Untuk menghitung besaran tenaga yang diperlukan, perlu memperhatikan jenis impeller dengan memperhatikan nilai konstanta K_L dan K_T .



Gambar 2 10 Impeller Tipe Paddle

(Qasim, et al, 2000)



Gambar 2 11 Impeller Tipe Turbin

(Qasim, et al, 2000)

Tabel 2. 2 Kriteria Impeller

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

(Reynolds & Richards, 1996:185)

Tabel 2. 3 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan (Td) (detik)	Gradien Kecepatan (Detik⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
50 >_	700

(Reynolds & Richards, 1996:184)

Tabel 2. 4 Konstanta KL dan KT

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), $D_i/W_i=4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i=6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i=8$	71,0	3,82

(Reynolds & Richards, 1996:188)

Flokulasi merupakan proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang memiliki ukuran yang lebih besar. Dalam proses flokulasi beberapa hal berikut perlu diperhatikan :

- a) Proses flokulasi harus sesuai dengan cara pengadukan yang dilakukan agar pembentukan flok dapat berjalan dengan baik dan efektif
- b) Kecepatan pengadukan didalam bak flokulator harus bertahap dan kecepataannya mekin pelan kea rah aliran keluar
- c) Waktu pengadukan rata-rata 20-40 menit
- d) Perencanaan peralatan pengadukan didasarkan pada perhitungan gradien kecepatandalam bak flokulator.

(Said, 2017).

Proses pengadukan lambat (agitasi dan stirring) digunakan untuk proses flokulasi agar memberi kesempatan untuk partikel flok yang terkoagulasi untuk bergabung

membentuk flok yang lebih besar dan untuk memudahkan flokulan mengikat flok-flok kecil serta mencegah flok yang terbentuk untuk memisahkan diri.

Pengadukan lambat dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20-100 detik) selama 10-60 menit atau nilai GT_d (bilangan camp) berkisar 48000-210000. Gradien kecepatan akan diturunkan secara bertahap agar flok tetap mengikat satu sama lain dan menambah kesempatan untuk bergabung dengan flok lain untuk membentuk gumpalan yang lebih besar

Nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah:

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

2.3.6 Filtrasi

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

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

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

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

Menurut Al-Layla (1978), pada proses purifikasi air, rapid sand filters memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan slow sand filters. Kecepatan pada rapid sand filters ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara 4-5 m³/m².hr (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 m³/m².hr). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,450,55 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:

- Media Pasir Single:
 - a. $UC = 1,3-1,7$
 - b. $ES = 0,45 = 0,70 \text{ mm}$
- Media Pasir Dual
 - a. $UC = 1,4 - 1,9$
 - b. $ES = 0,5 - 0,7 \text{ mm}$

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).

Tabel 2. 5 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)	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36-50 10-1	Tanpa/dengan blower & atau surface wash 36-50 10-15

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
	Periode antara dua pencucian (jam)	18-24	18-24
	Ekspansi (%)	30-50	30-50
3	Dasar Filter	80-100 2-5	80-100 2-5
	Lapisan penyangga dari atas ke bawah	80-100 5-10	80-100 5-10
	Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80-100	80-100
	Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	10-15	10-15
	Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	80-150	80-150
	Kedalaman (mm) ukuran butir (mm)	15-30	15-30
	Filter Nozzle	<0.5	<0.5
	Lebar Slot Nozzle	>4%	>4%
	Persentase luas slot nozzle terhadap luas filter (%)		

(SNI: 6774-2008)

2. Filter Pasir Lambat

Filter pasir lambat atau slow sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter pasir lambat bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan *hypogeal* atau

schmutzdecke. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati *schmutzdecke*, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa (Masduqi & Assomadi, 2012:176).

Tabel 2. 6 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai / Keterangan
Kecepatan filtrasi	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar – 2000m ²
Kedalaman bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran Pasir	<i>Effective Size</i> 0,25-0,3 mm. <i>Uniformity Coefficient</i> 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
Kriteria	Nilai/Keterangan
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

(Schulz & Okun, 1984)

3. Filter Bertekanan

Filter bertekanan (pressure filter) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter gravitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada filter

cepat dan filter lambat, aliran air melewati media berbutir hanya didorong oleh tekanan atmosfer atau sistem aliran terbuka. Pada filter bertekanan, diperlukan pendorong tekanan yang lebih besar. Oleh karena itu tangki dirancang dengan sistem tertutup dan menggunakan pompa untuk menambah tekanan dalam tangki.

Tabel 2. 7 Kriteria Filter Berktekan

No	Unit	Nilai/Keterangan
1	Kecepatan Penyaringan (m/jam)	12-33
2	Pencucian:	
	Sistem Pencucian	Tanpa atau dengan blower & atau surface wash
	Kecepatan (m/jam)	72-198
	Lama Pencucian (Menit)	-
	Periode antara dua pencucian (jam)	-
	Ekspansi (%)	30-50
3	Media Pasir	
	Tebal (mm)	300-700
	Single Media	600-700
	Media Ganda	300-600
	Ukuran Efektif, ES (mm)	-
	Koefisien Keseragaman. UC	1.2-1.4
	Berat Jenis (Kg/L)	2.5-2.65
	Porositas	0.4
	Kadar SiO ₂	95%

No	Unit	Nilai/Keterangan
4	Media Antrasit	
	Tebal (mm)	400 – 500
	ES (mm)	1.2-1.8
	UC	1.5
	Berat Jenis (Kg/L)	1.35
	Porositas	0.5
5	Dasar Filter	
	Filter	
	Nozzle	
	Lebar slot nozzle	<0.5
	Persentase luas slot nozzle terhadap luas filter (%)	>4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

4. Hidrolika Pencucian (Backwash)

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

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

Tujuan pencucian filter adalah melepaskan kotoran yang menempel pada media filter dengan aliran ke atas (upflow) hingga media terekspansi. Umumnya tinggi sebesar 15 sampai 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 hingga 15 menit.

2.3.7 Desinfeksi

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

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

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

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

1. Waktu Kontak
2. Konsentrasi desinfeksi
3. Jumlah mikroorganisme
4. Temperatur 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

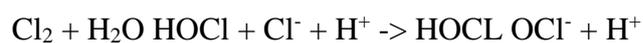
Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan perusakan bakteri antara 600 – 3000 lebih kuat dari klorin. Penggunaannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan electron yang tidak beraturan dalam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

2. Desinfeksi dengan UV

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

3. Desinfeksi dengan pembubuhan kimia

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



4. Desinfeksi dengan gas klor

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 (Cl₂) 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).

2.3.8 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya Reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari Reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengna 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)

Adalah reservoir yang Sebagian besar atau seluruh bagian dari reservoir terletak di bawah permukaan tanah

2. Reservoir Menara (Elevated Reservoir)

Merupakan jenis reservoir yang seluruh bagian penampungannya terletak lebih tinggi dari permukaan tanah di sekitarnya.

Berdasarkan bahan konstruksinya, jenis reservoir terbagi menjadi tiga:

1. Reservoir Tangki 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.

2. Reservoir Beton Cor

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

3. Reservoir Fiberglass

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

2.3.9 Sludge Drying Bed

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur / sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga

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

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada sludge drying bed. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur / sludge ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki effective size antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan sludge drying bed. (Metcalf & Eddy, 2003).

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

mengurangi kecepatan alir saat sludge memasuki bangunan pengering. (Metcalf & Eddy, 2003)

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

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

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).

2.4 Persen Removal

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

Tabel 2. 8 Persen Removal Tiap Unit

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Sedimentasi	Kekeruhan	90%	Droste, 1997 Hal. 224
	TDS	20%	Reynolds, Richards, 1996.

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Aerasi	Fe	41.20%	Mubarak, Kasjono, Dwi. 2016
Filtrasi	Fe	86%	Droste, 1997, Hal. 225
	Mangan	88.45%	Manav, 2016.
Desinfeksi	Bakteri E.Coli	100%	Ali Masduqi, 2012

2.5 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
- e. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- f. Kehilangan tekanan pada pompa
- g. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

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