

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Air baku merupakan salah satu bahan dasar dalam proses pengolahan air minum yang diambil dari sumber-sumber yang memenuhi standar baku mutu. Sumber air baku harus tersedia dalam jumlah besar agar dapat memenuhi kebutuhan air minum daerah perencanaan. Penentuan sumber air baku untuk pengolahan harus mempertimbangkan data yang didapat melalui penelitian secara periodik antara 5 – 10 tahun (Kawamura, 1991).

Air baku merupakan salah satu bahan dasar dalam proses pengolahan air minum. Sumber air baku harus tersedia dalam jumlah besar agar dapat memenuhi kebutuhan air minum daerah perencanaan. Sumber air baku yang digunakan dalam perencanaan instalasi pengolahan air minum ini adalah air permukaan. Air permukaan merupakan air yang berada pada permukaan, contohnya sungai, rawa, danau, dan mata air. Kualitas air permukaan pada umumnya belum memenuhi standar air baku dikarenakan kekeruhan, zat organik, kadar logam berat, warna, dan lain lain yang menyebabkan air permukaan tidak dapat langsung dikonsumsi.

Agar dapat dijadikan sumber air baku untuk air minum, maka air permukaan harus memenuhi kualitas oksigen yang terlarut, pH yang sesuai, kandungan zat padat yang minim, tidak mengandung bakteri, temperatur, dan parameter lain yang sesuai dengan syarat air baku untuk air minum. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010, pH yang diinginkan pada air permukaan diantara 6,5 dan 8,5. Air permukaan yang banyak digunakan untuk sumber air baku pengolahan air minum adalah air sungai dan air danau.

2.2 Karakteristik Air Baku

Sebelum memulai merancang instalasi pengolahan air baku dibutuhkan baku mutu agar dapat mengetahui bahwa air tersebut layak atau tidak digunakan. Karakteristik yang sudah didapatkan harus dibandingkan dengan karakteristik yang tercantum dalam baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Dalam perencanaan pengolahan air minum ini, air sungai yang digunakan sebagai air baku mempunyai beberapa karakteristik diantaranya sebagai berikut :

2.2.1 *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) atau muatan padatan tersuspensi adalah bahan-bahan tersuspensi berdiameter $> 1 \mu\text{m}$ yang tertahan pada saringan miliopore dengan diameter pori sebesar $0,45 \mu\text{m}$. TSS ini terdiri dari lumpur, pasir halus serta jasad-jasad renik. Penyebab TSS di perairan yang paling umum adalah pengikisan tanah yang terbawa hingga ke badan air. Konsentrasi TSS apabila terlalu tinggi akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis (Effendi, 2000).

2.2.2 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand atau BOD merupakan ukuran jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk secara biologis menguraikan senyawa organik dalam air. Hasil pengujian BOD berfungsi untuk memperkirakan kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam proses stabilisasi biologis zat organik, menentukan ukuran unit pengolahan limbah, mengevaluasi efisiensi proses pengolahan, serta memastikan bahwa kualitas air limbah yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu yang berlaku.

BOD diukur dalam satuan part per million (ppm) atau miligram per liter (mg/L) dan menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan

zat organik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dalam air limbah, hingga air tersebut kembali menjadi jernih. Menurut Mays (1996), BOD juga dapat diartikan sebagai ukuran konsumsi oksigen oleh komunitas mikroba di perairan sebagai respons terhadap keberadaan bahan organik yang dapat terurai. Dengan demikian, meskipun BOD secara teknis mengukur kebutuhan oksigen, nilai ini secara praktis juga dapat merepresentasikan kandungan bahan organik yang mudah terurai (biodegradable organics) dalam suatu perairan.

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan ukuran jumlah senyawa organik dalam air sungai atau limbah yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan agen oksidator seperti dikromat dalam kondisi asam. Nilai COD

umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan BOD ultimate, meskipun keduanya dapat bernilai serupa dalam kondisi yang sangat jarang terjadi. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain adanya senyawa organik yang tidak mudah diuraikan secara biologis seperti lignin, yang hanya dapat dioksidasi melalui proses kimia; keberadaan senyawa anorganik yang turut teroksidasi oleh dikromat dan menambah total nilai COD; serta kemungkinan adanya zat organik yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme yang diperlukan dalam pengujian BOD. Selain itu, beberapa senyawa anorganik yang bereaksi dengan dikromat juga dapat menyebabkan nilai COD menjadi lebih tinggi (Metcalf & Eddy, 2003).

Proses pengukuran COD dilakukan dengan menambahkan reagen oksidator ke dalam sampel air atau limbah, lalu menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik yang terkandung di dalamnya. Baik COD maupun BOD digunakan sebagai indikator kuantitatif kandungan bahan organik dalam air atau limbah. Perbedaannya terletak pada metode dan cakupan pengukuran: BOD mengukur oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik secara biologis, sedangkan COD mengukur oksigen yang dibutuhkan untuk

mengoksidasi bahan organik melalui reaksi kimia. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan secara biologis, nilainya biasanya lebih tinggi dibandingkan dengan BOD.

2.2.4 Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur logam golongan VII. Dalam jumlah yang kecil ($<0,5$ mg/l), mangan (Mn) dalam air tidak menimbulkan gangguan kesehatan, melainkan bermanfaat dalam menjaga kesehatan otak dan tulang, berperan dalam pertumbuhan rambut dan kuku, serta membantu menghasilkan enzim untuk metabolisme tubuh untuk mengubah karbohidrat dan protein membentuk energi yang akan digunakan. Air yang mengandung mangan (Mn) berlebih menimbulkan rasa, warna (coklat/ungu/hitam), dan kekeruhan (Fauziah, 2010). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 kadar mangan maksimum yang diperbolehkan bagi standard air minum adalah 2 mg/l.

2.2.5 Total Coliform

Coliform adalah bakteri gram negatif berbentuk batang bersifat anaerob atau fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan dapat memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada suhu 35°C - 37°C (Knechtges, 2011). Golongan bakteri Coliform adalah *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia coli*, dan *Klebsiella* (Batt, 2014). Bakteri Coliform adalah golongan bakteri intestinal yaitu hidup di dalam saluran pencernaan manusia (Treyens, 2009). Penggolongan bakteri Coliform dan sifat-sifatnya, dibagi menjadi dua yaitu Coliform fekal diantaranya bakteri *Escherichia coli* berasal dari tinja manusia. Coliform non fekal diantaranya *Aerobacter* dan *Klebsiella* yang bukan berasal dari tinja manusia, melainkan berasal dari hewan/tanaman yang sudah mati (Suriaman, 2008).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MEN. KES/PER/IX/1990, Air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah di masak. Syarat air bersih yaitu tidak berasa, tidak berbau, dan tidak berwarna bebas dari cemaran kimia

seperti logam berat, dan mikrobiologi. Bebas cemaran mikrobiologi yaitu air yang digunakan sebagai air bersih bebas dari keberadaan kontaminasi Coliform. Coliform merupakan indikator adanya cemaran tinja dalam air. Standar air bersih yang diizinkan adalah untuk air perpipaan adalah 10/100ml air, sedangkan air bukan perpipaan adalah 50/100 ml air (PERMENKES RI, 1990).

2.2.6 pH

pH merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan dalam air. Pengukuran pH menjadi salah satu uji yang paling penting dan sering dilakukan dalam kimia air. Nilai pH digunakan dalam penentuan alkalinitas, kadar karbon dioksida (CO_2), serta keseimbangan antara asam dan basa. Pada suhu tertentu, tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan ditunjukkan melalui nilai pH dan aktivitas ion hidrogen. Perubahan nilai pH dalam air dapat memengaruhi bau, rasa, dan warna air tersebut. Dalam proses pengolahan air seperti koagulasi, desinfeksi, dan pelunakan, pH harus dijaga dalam kisaran tertentu agar partikel-partikel mikroorganisme dapat berfungsi secara optimal. Asam dan basa pada dasarnya dapat dibedakan melalui rasa serta perubahan yang ditimbulkan terhadap indikator.

Secara definisi, pH (*power of Hydrogen*) adalah ukuran yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu air. Nilai pH air laut umumnya berada dalam kisaran 7,6 hingga 8,4 (Nursaiful, 2004). Peningkatan pH di lingkungan perairan dapat mengurangi konsentrasi CO_2 , terutama pada siang hari saat proses fotosintesis sedang berlangsung.

2.3 Bangunan Pengolahan Air Minum

2.3.1 Intake

Intake merupakan bangunan penangkap air atau tempat air masuk sungai, danau, situ, atau sumber air lainnya. Bangunan intake menurut cara pengambilannya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu (Kawamura, 1991) :

a. *Intake* gravitasi

Intake gravitasi adalah bangunan penangkap air dari sumber yang menggunakan prinsip gravitasi.

b. *Intake* pemompaan

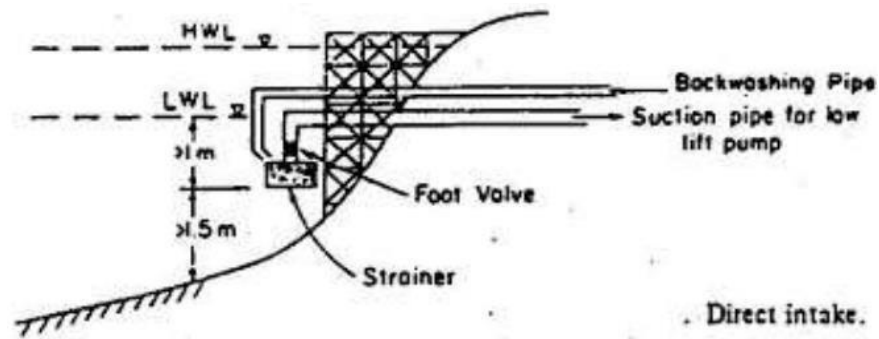
Intake pemompaan adalah bangunan penangkap air dari sumber yang menggunakan bantuan pompa. Selain itu berdasarkan sumber air permukaannya, bangunan intake juga dapat 6 dibagi atas (Kawamura, 1991). Salah satu *intake* yang digunakan yaitu *river intake*. kriteria pemilihan lokasi *river intake* adalah sebagai berikut :

- Kualitas air;
- Kemungkinan perubahan yang terjadi;
- Minimasi efek negatif;
- Adanya akses yang baik guna perawatan dan perbaikan (*maintenance*);
- Adanya tempat bagi kendaraan;
- Adanya lahan guna penambahan fasilitas pada masa yang akan datang;
- Kuantitas air;
- Efek terhadap kehidupan aquatik di sekitarnya;
- Kondisi geologis.

Menurut Kawamura (2000), bangunan *intake* memiliki beberapa tipe, antara lain adalah sebagai berikut :

a. *Direct Intake*

Digunakan untuk sumber air yang dalam seperti sungai atau danau dengan kedalaman yang relatif tinggi. Jenis *Intake* ini memungkinkan erosi dinding dan endapan di bagian bawah.



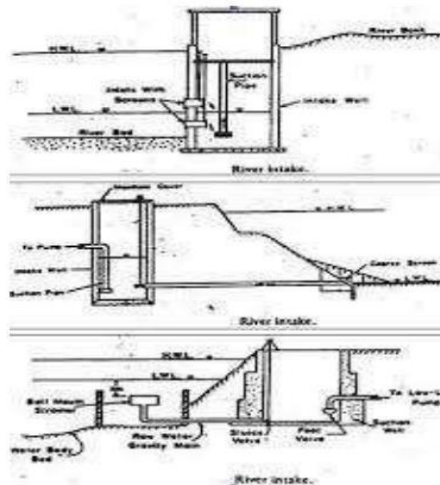
Gambar 2. 1 Direct Intake

(Sumber: Kawamura, 2000)

b. Indirect Intake

- *River Intake*

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



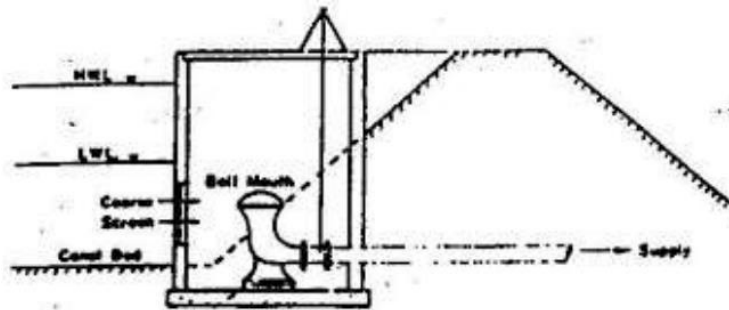
Gambar 2. 2 River Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

- *Canal Intake*

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

selanjutnya.

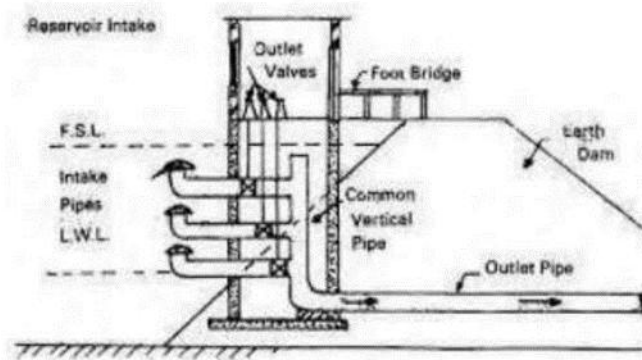


Gambar 2. 3 Canal Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

- *Reservoir Intake*

Digunakan untuk air yang diambil dari bendungan dan Menara *intake* air yang mudah digunakan. Menara *intake* dengan bendungan dibuat terpisah dan terletak di hulu. Untuk mengimbangi fluktuasi ketinggian air, pintu masuk bertingkat ditempatkan di menara.



Gambar 2. 4 Reservoir Intake

(Sumber: Kawamura, 1991)

2.3.2 BarScreen

Screening atau biasa disebut dengan bar screen digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang

berukuran $> 0,5 - 1$ cm agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu merusak peralatan unit pengolahan berikutnya, mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan, dan mencemari saluran air. Pada umumnya screen dilakukan pada tahap awal dalam pengolahan. Saringan sebagai penggunaan umum dapat dipakai untuk memisahkan berbagai macam benda padat dengan ukuran besar yang terdapat pada air baku, misalnya seperti kertas, plastik, kayu dan lainnya. Screen atau saringan dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu saringan kasar dan saringan halus. Saringan kasar diletakkan pada awal proses. Tipe yang umumnya digunakan antara lain bar rack atau bar screen, coarse woven-wire screen dan communitor. Saringan halus memiliki bukaan $2,3 - 6$ mm, halus pembersihannya dilakukan secara mekanis. Beberapa tipe screen yang sangat halus juga telah dikembangkan untuk dipakai pada pengolahan sekunder (Said, 2017). Beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam merencanakan bar screen antara lain adalah:

- a. Kecepatan atau kapasitas rencana
- b. Jarak antar Bar
- c. Ukuran bar (batang)
- d. Sudut inklinasi
- e. Headloss yang diperbolehkan

Adapun jenis dari bar screen adalah *fine screen* (saringan halus) dan *coarse screen* (saringan kasar). Sedangkan menurut mekanisme operasinya terdapat 2 jenis bar screen yaitu dengan pembersihan manual dan mekanik (Reynolds & Richards, 1995). Umumnya unit bar screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy,

2003). Tebal batang biasanya 5-15 mm dengan jarak antar batang 25-50 mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. Bar screen dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (S. R. Qasim, 2000).

2.3.3 Bak Pengumpul

Bak pengumpul bertujuan untuk menampung air sementara dan padatan kasar yang mudah mengendap dan terdapat pada aliran air seperti pasir (Metcalf & Eddy et al., 2007). Bak pengumpul juga berfungsi untuk mengontrol fluktuasi dari aliran air yang akan diolah agar memberikan kondisi aliran yang stabil pada proses pengolahan selanjutnya. Cara kerja bak pengumpul ini adalah ketika air yang keluar dari proses produksi, maka selanjutnya air dialirkan menuju bak pengumpul. Pada bak pengumpul debit air diatur agar dapat memenuhi kriteria perencanaan pada unit bangunan selanjutnya.

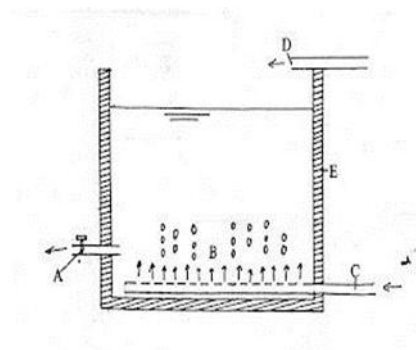
2.3.4 Aerasi

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, 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).
3. Menghilangkan *hydrogen sulfide* (H₂S), *methan* (CH₄) dan berbagai senyawa-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 (CaCO_3) 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 oksigen 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.



Gambar 2. 5 Bubble Aerator

(Sumber: Asmadi et al,2011)

Keterangan :

A = Outlet

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = Inlet air baku

E = Bak air

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

2.3.5 Koagulasi

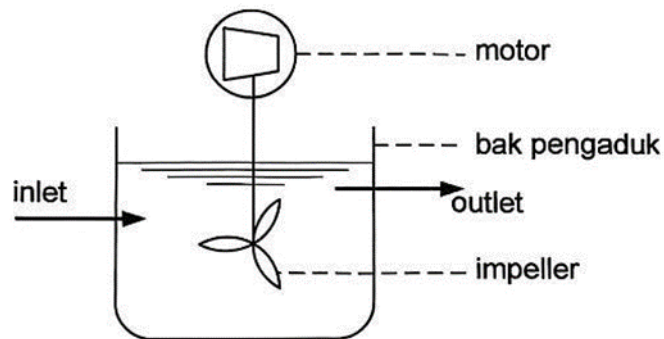
Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya Tarik menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil penggumpalan partikel tidak terjadi dan Gerakan brown menyebabkan partikel tetap menjadi suspensi. Melalui koagulasi maka akan terjadi destabilisasi sehingga partikel koloid menyatu dan menjadi besar, sehingga partikel koloid yang awalnya sulit dipisahkan dari air menjadi mudah dipisahkan dengan menambahkan flokulasi dan sedimentasi (Said, 2017).

Proses destabilisasi terjadi salah satunya akibat dari pengadukan cepat, pengadukan cepat bertujuan agar menghasilkan turbulensi pada air sehingga bahan kimia (koagulan) dapat didispersikan kedalam air. Secara umum pengadukan cepat ialah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan yang besar (300 sampai 1000/s) selama 5 hingga 60 detik yang bergantung pada maksud serta tujuan dari pengadukan itu sendiri (Masduqi, 2016).

Menurut (Masduqi, 2016), pengadukan cepat dibagi menjadi tiga cara, yaitu pengadukan mekanis, pengadukan hidraulis, dan pengadukan pneumatik.

a. Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan dengan memakai peralatan

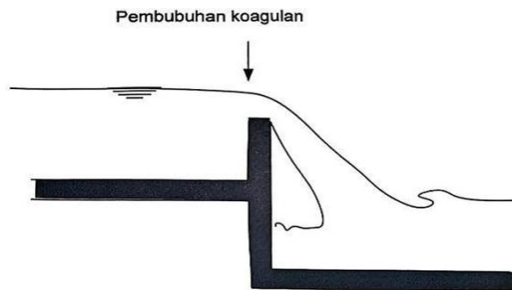
mekanis yang terdiri dari motor, poros pengaduk, dan alat pengaduk yang digerakkan dengan motor bertenaga listrik.



Gambar 2. 6 Pengadukan Mekanis Koagulasi

(Sumber: Masduqi, 2016)

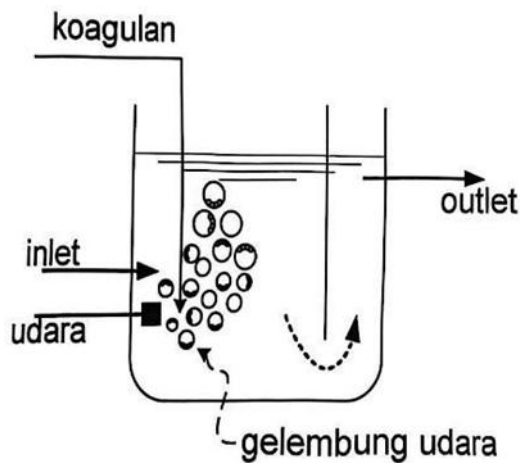
- b. Pengadukan hidraulis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan yang dihasilkan dari energi hidraulis dari suatu aliran hidraulis yang dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau lompatan hidraulis pada suatu aliran.



Gambar 2. 7 Pengadukan Hidraulis Koagulasi

(Sumber: Masduqi, 2016)

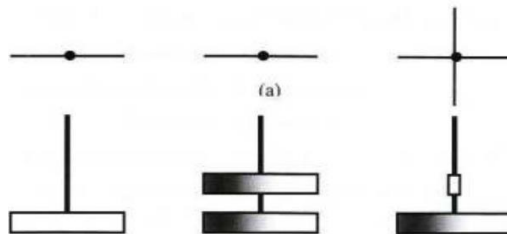
- c. Pengadukan pneumatis merupakan pengadukan yang memakai udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan.



Gambar 2. 8 Pengadukan Pneumatis Koagulasi

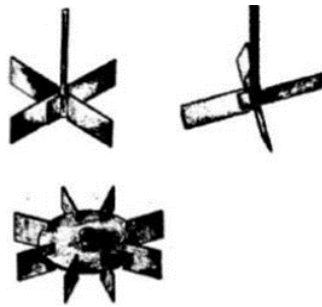
(Sumber: Masduqi, 2016)

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* (balok-balok). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (*power*) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan *jenis impeller* yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT .



(Sumber: Masduqi & Assomadi, 2012)

Gambar 2. 9 Tipe Paddle Tampak Atas dan Samping



Gambar 2. 10 Tipe Paddle

(Sumber: Qasim et al., 2000)



Gambar 2. 11 Tipe Propeller

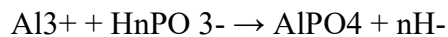
(Sumber: Qasim et al., 2000)

Bahan kimia yang biasanya dipakai untuk proses koagulasi umumnya dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan dipakai untuk menggumpalkan partikel yang tersuspensi, zat warna, koloid dan lain-lain agar membentuk gumpalan partikel yang besar (flok). Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan berfungsi untuk mengatur pH agar kondisi air baku dapat menunjang proses flokulasi, serta membantu agar pembentukan flok dapat berjalan lebih efisien (Said, 2017). Beberapa macam koagulan yang sering digunakan dalam proses penjernihan air adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC), *Aluminium Sulfat* ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), *Ferri Klorida* (FeCl_3), dan *Ferri Sulfat* ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$).

Aluminium sulfat adalah senyawa yang berfasa padat dengan nama lain alum (tawas) yang merupakan produk buatan berbentuk bubuk atau kristal berwarna putih dan biasa digunakan sebagai koagulan dalam proses penjernihan air (Mursitaningrum dkk., 2024). Koagulan alum efektif dalam pengolahan air minum karena mampu menghilangkan kekeruhan dan partikel-partikel halus dalam air. Selain itu, tawas juga

dapat menurunkan kadar fosfat dalam air sehingga dapat mengurangi pertumbuhan alga di badan air.

Penurunan parameter fosfat melibatkan penggabungan fosfat ke dalam flok yang selanjutnya akan mengendap bersama flok tersebut. Pengendapan kimia fosfat disebabkan oleh penambahan garam ion logam multivalent yang dapat membentuk endapan fosfat. Ion logam multivalent yang dimaksud berupa kalsium, aluminium, serta besi (Metcalf & Eddy, 2003). Rumus kimia penurunan fosfat dengan aluminium adalah sebagai berikut :



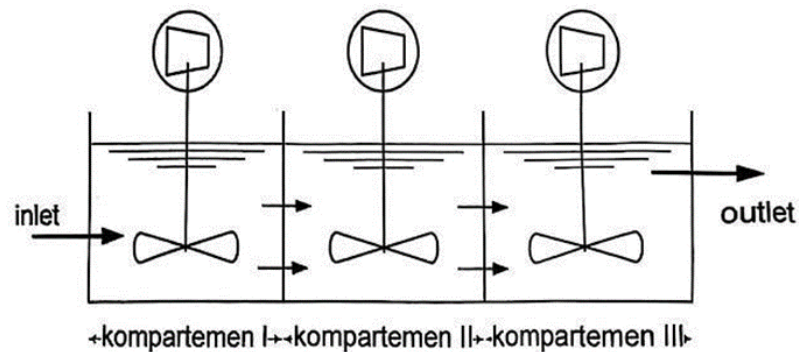
Alum yang dilarutkan dalam air akan terionisasi menjadi ion Aluminium (Al^{3+}) dan ion sulfat (SO_4^{2-}). Ion aluminium ini akan berinteraksi dengan ion fosfat (PO_4^{3-}) dan membentuk senyawa fosfat aluminium. Senyawa fosfat aluminium bersifat tidak larut dalam air dan senyawa ini akan membentuk flok yang nantinya mengendap dalam air.

2.3.6 Flokulasi

Pada hakikatnya flokulator adalah kombinasi antara pencampuran dan pengadukan sehingga flok-flok halus yang terbentuk pada bak pencampur cepat akan saling bertumbukan dengan partikel-partikel kotoran atau flok-flok yang lain sehingga terjadi gumpalangumpalan flok yang semakin besar (Said, 2017).

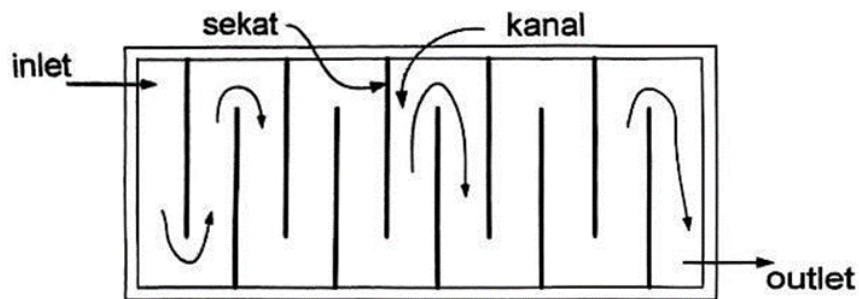
Proses flokulasi berfungsi untuk membentuk flok-flok agar menjadi besar dan stabil sehingga dapat diendapkan dengan mudah atau disaring. Untuk proses pengendapan dan penyaringan, partikel-partikel kotoran halus maupun koloid yang ada dalam air baku harus digumpalkan menjadi flok-flok yang cukup besar dan kuat untuk diendapkan atau disaring. Proses pembentukan flok dimulai dari proses koagulasi sehingga terbentuk flok-flok yang masih halus. Flok tersebut kemudian akan saling bertumbukan dengan sesama flok atau dengan partikel kotoran yang ada dalam air baku sehingga akan menggabung membentuk gumpalan flok yang besar sehingga mudah mengendap. Umumnya pengadukan lambat dapat berupa pengadukan mekanis dengan

memakai impeller atau berupa pengadukan hidraulis dengan baffle channel (Said, 2017).



Gambar 2. 12 Pengadukan Lambat Secara Mekanis

(Sumber: Masduqi, 2016)



Gambar 2. 13 Pengadukan Lambat Secara Hidraulis

(Sumber: Masduqi, 2016)

Dalam proses flokulasi beberapa hal berikut perlu diperhatikan : (Said, 2017).

- Proses flokulasi harus sesuai dengan cara pengadukan yang dilakukan agar pembentukan flok dapat berjalan dengan baik dan efektif.
- Kecepatan pengadukan didalam bak flokulator harus bertahap dan kecepatannya semakin pelan ke arah aliran keluar.
- Waktu pengadukan rata-rata 20-40 menit.
- Perencanaan peralatan pengadukan didasarkan pada perhitungan gradien kecepatan dalam bak flokulator.

2.3.7 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses 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. Untuk pengolahan air minum, sedimentasi yang umum digunakan yaitu sedimentasi tipe 2. Sedimentasi tipe 2 merupakan pengendapan partikel flokulan dalam air, di mana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel sehingga ukuran flok akan semakin besar dan pada akhirnya akan mengendap (Masduqi, 2016).

Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah :

- a. Pengendapan air permukaan untuk penyisihan partikel diskrit
 - b. Pengendapan flok hasil koagulasi-flokulasi
 - c. Pengendapan lumpur hasil pembubuhan soda kapur pada proses penurunan kesadahan
 - d. Pengendapan presipitat padapenyisihan besi dan mangan dengan oksidasi
- Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas.

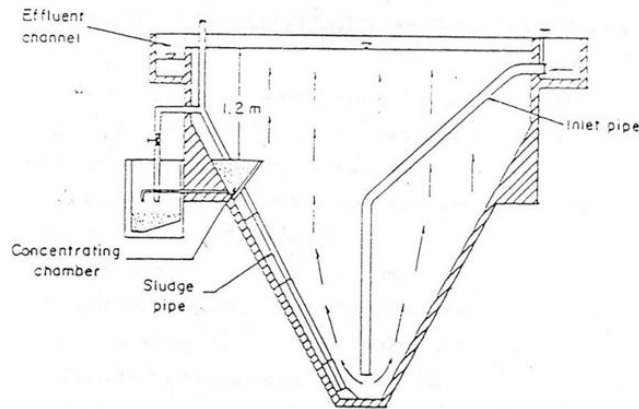
Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah :

- a. Pengendapan Tipe I (*Free Settling*), bertujuan untuk mengendapkan partikel diskrit.
- b. Pengendapan Tipe II (*Flocculent Settling*), bertujuan untuk mengendapkan partikel flokulen.
- c. Pengendapan Tipe III (*Zone/Hindered Settling*), bertujuan untuk mengendapkan lumpur biologis.
- d. Pengendapan Tipe IV (*Compression Settling*), bertujuan untuk memampatkan partikel yang telah mengendap akibat dari berat partikel.

Berdasarkan bentuknya, bak sedimentasi terbagi menjadi 3 bentuk, yaitu :

- a. Lingkaran (*Circular*) – *center feed*

Air masuk melalui pipa menuju inlet bak di bagian tengah bak dan kemudian mengalir secara horizontal dari inlet dan menuju outlet di sekeliling bak.

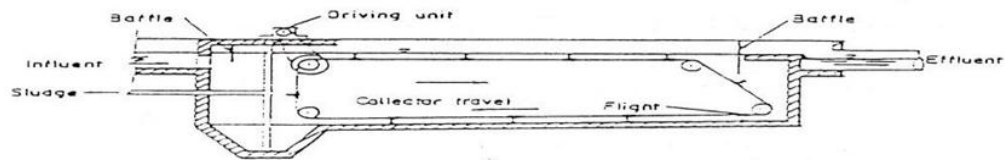


Gambar 2. 14 Bak Sedimentasi Circular Center Feed

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

b. Segi empat (*Rectangular*)

Air mengalir horizontal dari inlet menuju outlet, sementara partikel mengendap ke bawah.

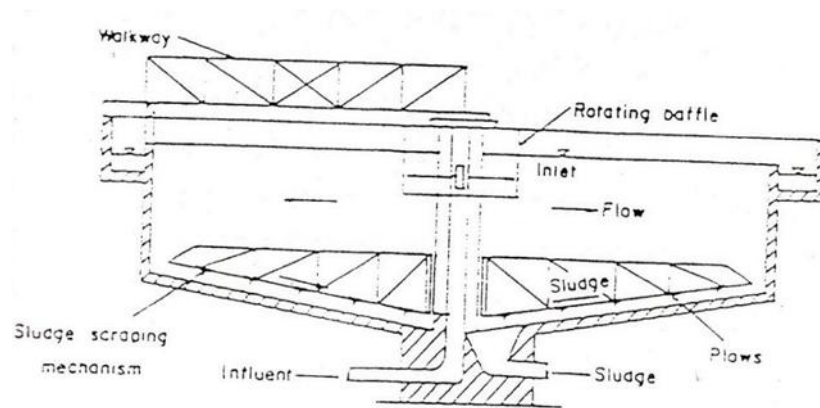


Gambar 2. 15 Bak Sedimentasi Rectangular

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

c. Lingkaran (*Circular*) – *peripheral feed*

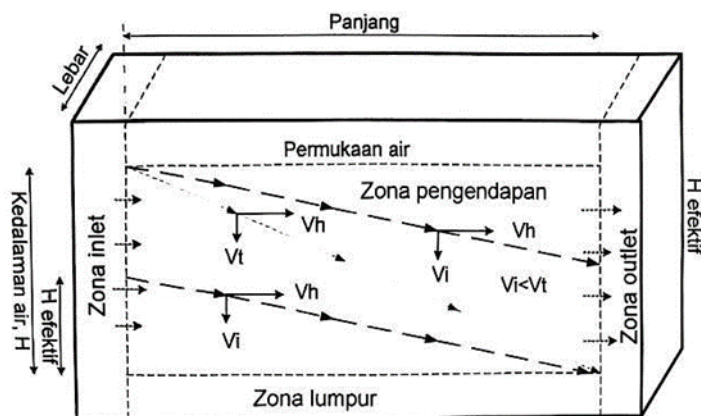
Air masuk melalui sekeliling lingkaran dan secara horizontal mengalir menuju ke outlet di bagian bawah lingkaran.



Gambar 2. 16 Bak Sedimentasi Circular Peripheral Feed

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Bak sedimentasi memiliki 4 bagian utama, yaitu bagian inlet, zona pengendapan, zona lumpur dan zona outlet.



Gambar 2. 17 Zona pada Bak Sedimentasi

(Sumber: Masduqi, 2016)

a. Zona Inlet

Zona Inlet merupakan tempat air masuk kedalam bak. Dalam zona ini aliran terdistribusi tidak merata melintasi bagian melintang bak, aliran meninggalkan zona inlet mengalir secara horisontal dan langsung menuju bagian outlet.

b. Zona Pengendapan (*settling*)

Zona pengendapan merupakan tempat flock atau partikel mengalami proses

pengendapan. Dalam zona ini, air mengalir pelan secara horisontal ke arah outlet, dalam zona ini terjadi proses pengendapan. Lintasan partikel diskret tergantung pada besarnya kecepatan pengendapan.

c. Zona Lumpur (*sludge*)

Zona lumpur merupakan tempat lumpur mengumpul sebelum keluar bak. Dalam zona ini lumpur terakumulasi. Sekali lumpur masuk area ini ia akan tetap disana.

d. Zona Outlet

Zona outlet merupakan tempat dimana air akan meninggalkan bak yang biasanya berbentuk pelimpah (*weir*) (Masduqi, 2016). Dalam zona ini, air yang partikelnya telah terendapkan terkumpul pada bagian melintang bak dan siap mengalir keluar bak.

2.3.8 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.

Filtrasi merupakan proses pemisahan zat padat dari suatu cairan yang membawanya dengan memakai medium berpori atau bahan berpori lain untuk menyisihkan zat padat halus yang tersuspensi dan koloid. Pada proses pengolahan air minum, filtrasi digunakan untuk menyaring hasil dari proses koagulasi- flokulasi- sedimentasi sehingga menghasilkan air dengan baku mutu yang baik (Masduqi, 2016). Proses filtrasi dapat efektif menghilangkan bakteri dan sejenisnya yang terkandung di dalam air. 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.

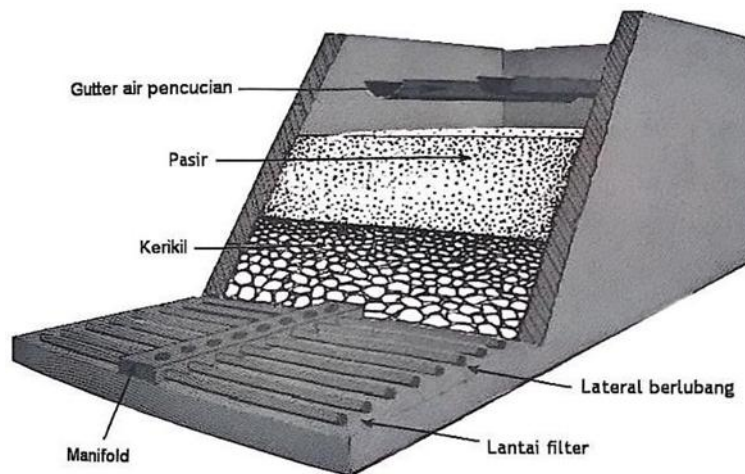
Berdasarkan tipenya, filtrasi dibagi menjadi dua yaitu, filtrasi pasir cepat (*rapid*

sand filter) dan filtrasi pasir lambat (*slow sand filter*). Filtrasi pasir lambat merupakan filter yang memiliki kecepatan filter yang lambat, yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter ini cukup efektif digunakan untuk mereduksi kandungan bahan organik dan organisme patogen. Namun, kelemahan filter ini yaitu membutuhkan ukuran bed filter yang besar, kecepatan filter yang sangat lambat dan hanya efektif digunakan untuk mengolah air baku dengan kadar kekeruhan 50 NTU (Masduqi, 2016).

Sedangkan filter pasir cepat merupakan filter dengan kecepatan filtrasi yang cepat, yaitu sekitar 6-11 m/jam. Keuntungan menggunakan *rapid sand filter* 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 filter* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Berdasarkan Masduqi (2016), filter memiliki beberapa bagian, bagian- bagian tersebut adalah :

- a. Bak filter yang berfungsi sebagai tempat proses filtrasi berlangsung.
- b. Media filter yang berupa media dengan bahan berbutir tempat berlangsungnya penyaringan.
- c. Sistem underdrain yang berfungsi sebagai sistem pengaliran air yang telah melewati proses filtrasi. Sistem underdrain ini terdiri atas orifice, lateral, dan manifold



Gambar 2. 18 Bagian-Bagian Rapid Sand Filter

(Sumber: Masduqi, 2016)

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

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

Setelah digunakan dalam kurun waktu tertentu, filter akan mengalami penyumbatan akibat tertahannya partikel halus dan koloid oleh media filter. Oleh sebab itu diperlukan backwash. Backwash merupakan suatu proses yang dilakukan untuk membersihkan media filter dari kotoran hasil dari proses penyaringan air baku. Tersumbatnya media filter ini dapat 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 untuk 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 filter sekitar 3 hingga 15 menit.

2.3.9 Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, (harus bebas mikroorganisme patogen). Desinfeksi ialah proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi 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 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 disinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan disinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan Kalium Permanganat. Kemampuan disinfeksi 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.

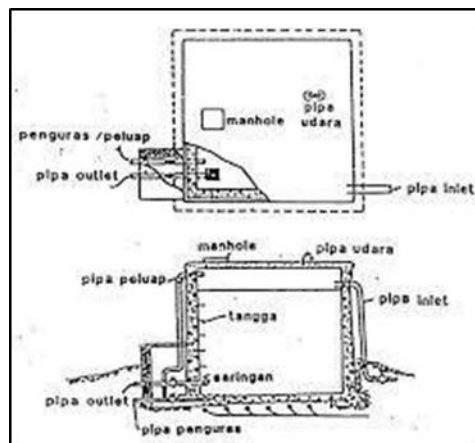
Dalam perancangan kali ini, kami menggunakan metode desinfeksi dengan gas klor. Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air (Park et al., 2008). 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 (Said, 2009). 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., 2003).

2.3.10 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. Sering kali 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 reservoir permukaan dan reservoir menara.

a. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)

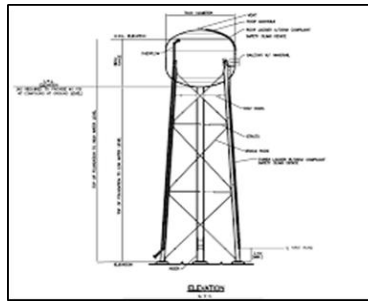


Gambar 2. 19 Reservoir Permukaan

(Sumber: BPSDM PU, 2018)

Reservoir permukaan adalah penampung air yang sebagian besar atau seluruhnya berada di bawah permukaan tanah. Reservoir permukaan biasanya berbentuk bak atau tangki air yang ditanam di bawah tanah.

b. Reservoir Menara (Elevated Reservoir)

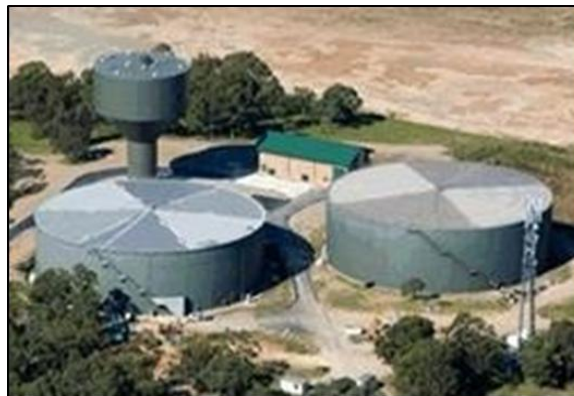


Gambar 2. 20 Reservoir Menara

(Sumber : AED Design Requirements: Water Tanks & System Distribution, 2009)

Reservoir menara adalah reservoir yang seluruh bagian penampungan dari reservoir terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya. Berdasarkan bahan konstruksinya, reservoir menara dibagi menjadi empat yaitu reservoir bahan baja, beton cor, fiber glass, dan pasangan bata.

c. Reservoir Tangki Baja



Gambar 2. 21 Reservoir Tangki Baja

(Sumber: BPSDM PU, 2018)

Banyak reservoir menara dan “standpipe” atau reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja dibaut atau dilas. Karena baja berisiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “Cathodic

Protection”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari beton.

d. 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 mahal.



Gambar 2. 22 Reservoir Beton Cor

(Sumber: <http://aladintirta.blogspot.com>)

2.3.11 Belt Press

Secara prinsip, *Belt Filter Press* (BFP) beroperasi melalui serangkaian tahapan pengolahan lumpur yang bertujuan mereduksi kadar air (*dewatering*) secara mekanis. Proses ini diawali dengan tahap pra-kondisi pada zona gravitasi (*gravity zone*), di mana sebagian besar air bebas terpisah dari lumpur akibat gaya berat, sehingga konsentrasi padatan meningkat. Pada beberapa unit spesifik, sistem vakum ditambahkan pada tahap ini untuk mengoptimalkan drainase air sekaligus mengontrol emisi bau. Selanjutnya, lumpur memasuki zona tekanan rendah, di mana lumpur dijepit di antara dua *belt* berpori. Proses berlanjut ke zona tekanan tinggi, di mana lumpur mengalami kompresi intensif saat melewati serangkaian *roller* penggulung untuk memeras sisa air yang terikat. Tahap akhir dari proses ini adalah pembentukan *sludge cake* kering yang

kemudian dilepaskan dari permukaan sabuk menggunakan pisau pengerok (*scraper blade*).

Sistem BFP merupakan integrasi dari berbagai komponen vital, meliputi pompa *feed* lumpur, unit injeksi polimer, tangki flokulasi, unit *press* utama, konveyor lumpur, serta unit pendukung seperti kompresor udara dan pompa pencuci *belt*. Efisiensi kinerja alat ini bersifat multivariabel, bergantung pada interaksi antara karakteristik lumpur, kondisi pengkondisian kimiawi, tekanan operasional, serta spesifikasi mesin (porositas, kecepatan, lebar *belt*, dan konfigurasi zona gravitasi). Perlu dicatat bahwa BFP memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi karakteristik lumpur yang dapat mendegradasi efisiensi pengeringan. Oleh karena itu, strategi perancangan sering kali memasukkan fasilitas pencampuran untuk menghomogenkan karakteristik lumpur. Tantangan utama dalam operasional BFP adalah biaya operasional yang relatif tinggi, sehingga optimasi konsentrasi padatan awal menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi pembentukan *cake*.



Gambar 2. 23 BeltPress

2.4 Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh rangkuman % removal untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air minum yang telah direncanakan. Berikut rangkuman % removal air beserta sumber yang tertera :

Tabel 2. 1 Persen Removal Unit Pengolahan

No.	Parameter	Unit Pengolahan	Sumber
1.	COD	● Aerasi ● Sedimentasi ● Filtrasi (Rapid Sand Filter)	- Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 224. - Nelson.2009 Environmental Engineering : Water, Wastewater, Soil and Groundwater Treatment and Remediation Sixth Edition. Hal 327. -Syed R. Qasim, Wastewater Treatment Plants Design and Operation hal. 246.
2.	BOD	● Aerasi ● Sedimentasi ● Filtrasi (Rapid Sand Filter)	- Syed R. Qasim, Wastewater Treatment Plants Design and Operation hal. 246 - Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th</i>, Hal 497 - James Mueller,Aeration Principles and Practice
3.	Mn	● Aerasi	- Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 224
4.	Fecal Coliform	● Desinfeksi	- Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 224
5.	TSS	● Sedimentasi ● Filtrasi (Rapid Sand Filter)	a. Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th</i>, Hal 497 b. Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 225