

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Air baku merupakan air yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum sehingga belum bisa langsung diminum, karena agar air layak diminum harus memenuhi syarat baku mutu kesehatan. Kebutuhan air baku untuk air minum akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Apalagi, sumber air juga dimanfaatkan untuk beragam keperluan lainnya seperti kebutuhan irigasi, pertanian, kehutanan, industri, pariwisata, dan sebagainya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 Tentang Sistem Penyediaan Air Minum, air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan (sungai, danau, waduk), air tanah, air hujan dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

Air baku sebagai awal dari suatu proses dalam penyediaan dan pengolahan air memerlukan pengukuran sifat-sifat air yang disebut parameter kualitas air. Standar mutu air baku itu diatur, mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Berdasarkan peraturan tersebut, sumber air sesuai peruntukannya terdiri dari 4 kelas. Sumber air yang akan digunakan sebagai air baku untuk air minum harus memenuhi klasifikasi mutu air kelas 1. Sementara itu, klasifikasi mutu air kelas 2 dan kelas 3 digunakan untuk pertanian, perikanan dan peternakan, serta klasifikasi mutu air kelas 4 digunakan untuk mengairi pertanian (Widyar,2023) Air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan/atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18, 2007)

Sumber air baku yang dapat digunakan untuk kebutuhan air minum dapat terdiri dari mata air, air permukaan (sungai, danau, waduk, dll.), air tanah (sumur gali, sumur bor) maupun air hujan. Dari segi kualitas air, kualitas mata air relatif jernih dibandingkan dengan kualitas sumber air dari air permukaan pada umumnya,

dengan demikian mata air lebih baik digunakan dibandingkan dengan air permukaan. Air tanah, yang umumnya mempunyai kandungan besi dan mangan relatif lebih besar dari sumber air yang lain, pemakaiannya juga sudah harus mulai dikurangi atau dihentikan sehubungan dengan masalah penurunan muka tanah. Air hujan yang keberadaannya sangat tergantung musim, masih dapat digunakan sebagai sumber air baku dengan membangun tangki penampungan atau waduk dalam skala besar (Djoko,2016)

Standar kualitas air ditetapkan sesuai Peraturan Menteri Kesehatan No 2 tahun 2023 standarisasi kualitas air bertujuan untuk memelihara, melindungi, dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat, terutama dalam pengolahan air untuk atau kegiatan usaha mengolah dan mendistribusikan air minum untuk masyarakat umum. Dengan adanya standarisasi tersebut dapat dinilai kelayakannya pendistribusian sumber air untuk keperluan rumah tangga. Kualitas air yang digunakan sebaiknya memenuhi persyaratan secara fisik, kimia, dan mikrobiologis (Surya, 2018)

2.2 Karakteristik Air Baku

Standar kualitas air minum di Indonesia diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Dimana air yang tersalur harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih dan dapat dinilai dari penglihatan bahwa air seharusnya bersih tanpa berbau, berwarna dan keruh dan layak untuk didistribusikan kepada pelanggan. Kualitas mutu air minum dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

- a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

- c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Dalam perencanaan pengolahan air minum, berikut: Air sungai yang digunakan sebagai air baku mempunyai beberapa karakteristik diantaranya sebagai berikut:

a) Total Coliform

Kualitas air dengan parameter mikrobiologi dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan bakteri, virus, parasit. Bakteri yang digunakan sebagai indikator adalah bakteri Coliform. Bakteri Coliform merupakan organisme *non spora* yang motil atau nonmotil, berbentuk batang, dan mampu memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada temperatur 37°C dalam waktu inkubasi 48 jam (Abdullah et al., 2019). Konsentrasi Total Coliform yang tinggi melebihi batas standar baku mutu air limbah merupakan indikator adanya cemaran patogen infeksius yang menimbulkan penyebaran penyakit melalui perantara media air (*water diseases*). Selain itu kandungan limbah cair dengan konsentrasi Total Coliform yang tinggi juga dapat mempengaruhi kehidupan organisme biota pada suatu perairan.

Bakteri coliform dalam air minum dikategorikan menjadi tiga golongan, yaitu coliform total, fecal coliform, dan *E. coli*. Masing-masing memiliki tingkat risiko yang berbeda. Coliform total kemungkinan bersumber dari lingkungan dan tidak mungkin berasal dari pencemaran tinja. Sementara itu, fecal coliform dan *E. coli* terindikasi kuat diakibatkan oleh pencemaran tinja, keduanya memiliki risiko lebih besar menjadi patogen di dalam air. Bakteri fecal coliform atau *E. coli* yang mencemari air memiliki risiko yang langsung dapat dirasakan oleh manusia yang mengkonsumsinya. Kondisi seperti ini mengharuskan pemerintah bertindak melalui

penyuluhan kesehatan, investigasi, dan memberikan solusi untuk mencegah penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air (Sulistiyawati, 2019)

b) TDS

TDS atau padatan terlarut adalah padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi. TDS disebabkan oleh bahan anorganik yang berupa ion-ion yang biasa ditemukan di perairan. Tingginya kadar TDS menunjukkan banyaknya zat terlarut, seperti mineral, garam, logam berat, dan bahan organik yang dapat merusak lingkungan dan organisme air. Keberadaan *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam konsentrasi tinggi di badan air dapat menyebabkan terjadinya pencemaran dan kematian terhadap organisme air serta mengurangi kemampuan badan air dalam menjaga ekosistem air (Studi Teknik Lingkungan Undip et al., 2020). Umumnya *Total Dissolved Solids* (TDS) yang tinggi dapat dilihat dari kondisi air yang keruh dan berwarna kuning (Putri & Leni, 2025)

c) Kekeruhan

Kekeruhan merupakan standar yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur kondisi suatu air baku dalam satuan skala NTU (*nephelometrix turbidity unit*). Kekeruhan adalah ukuran sejauh mana air kehilangan kejernihannya karena adanya partikel tersuspensi seperti lumpur, tanah liat, mikroorganisme, dan bahan organik. Kekeruhan yang tinggi dapat mengindikasikan adanya pencemaran, terutama jika disebabkan oleh limbah industri, pertanian, atau rumah tangga. Kekeruhan bukan hanya parameter estetika, tetapi juga menjadi indikator penting dalam proses pengolahan air dan air limbah, karena senyawa yang menyebabkan kekeruhan bisa mengikat logam berat atau mikroorganisme patogen. Kekeruhan disebabkan oleh adanya zat padat suspensi yang dapat berupa bahan-bahan organik seperti lumpur, organik terdispersi, plankton dan bahan- bahan yang dihasilkan oleh buangan industri yang ada di dalam air dan bahan anorganik lembam lainnya yang berasal dari limpasan air hujan (Lestari & Purnomo, 2023)

d) pH

pH adalah derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, yang dimaksudkan "keasaman" di sini adalah konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam pelarut air. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai $pH=7$. Nilai $pH>7$ menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai $pH<7$ menunjukan keasaman. Nama pH berasal dari *potential of hydrogen*. Secara matematis, pH didefinisikan dengan $H = -\log_{10}[H^+]$. Kebanyakan mikroorganisme dapat hidup pada pH antara 6-9. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit atau konduktivitas suatu larutan. Untuk pH yang sesuai standar baku mutu dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 2 tahun 2023 berkisar antara 6,5 - 8,5.

e) Nitrat

Nitrat (NO_3) merupakan bentuk nitrogen utama di perairan alami. Nitrat berasal dari amonium yang masuk ke perairan melalui limbah. Kadar nitrat dapat menurun karena aktivitas mikroorganisme dalam air. Mikroorganisme akan mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan oleh bakteri akan berubah menjadi nitrat. Proses oksidasi tersebut akan menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut semakin berkurang. Sumber utama zat hara nitrat berasal dari perairan itu sendiri yaitu melalui proses-proses penguraian, pelapukan ataupun dekomposisi tumbuh-tumbuhan dan sisa organisme mati. Selain itu juga tergantung pada keadaan sekeliling diantaranya sumbangan dari daratan melalui aliran sungai di wilayah tersebut. Kadar nitrat yang melebihi ambang batas dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi sehingga menstimulir pertumbuhan fitoplankton dengan cepat/*blooming*. Toksisitas nitrat secara tidak langsung di perairan adalah karena nitrat dapat membantu pertumbuhan alga secara berlebihan yang dikenal dengan "*algae bloom*" yang dapat mengakibatkan kadar oksigen terlarut dalam air berkurang, sehingga mengganggu ekosistem di perairan (Rista, 2023)

f) Besi (Fe)

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

2.3 Kualitas Air

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan air sehingga memenuhi syarat atau baku mutu air. Air minum yang disuplai kepada pelanggan harus bersumber dari mutu air yang sesuai kualifikasi kualitas air minum dan kemudian diolah lagi sehingga siap diberikan ke seluruh masyarakat. Standar air minum bergantung dari kebijakan pemerintah pusat. Kebijakan standart layak air minum melihat kondisi suatu negara yang bersangkutan. Secara umum, Parameter standar air di bedakan menjadi dua yaitu standar kualitas air baku dan standar kualitas air minum yang dijelaskan sebagai berikut :

2.3.1 Standar Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air adalah ukuran atau kadar makhluk hidup, zat energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air. Baku mutu digunakan untuk menentukan besar kadar polutan yang akan diolah agar layak dikonsumsi. Status baku mutu air mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021, yang mengklasifikasikan mutu air menjadi empat kelas berdasarkan peruntukannya. Berdasarkan peraturan tersebut, klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi empat kelas yaitu:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi

pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.3.2 Standar Kualitas Air Minum

Standar kualitas air minum di Indonesia diatur pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Dimana air yang tersalur harus memiliki mutu baik, bersih atau jernih dan dapat dinilai dari penglihatan bahwa air seharusnya bersih tanpa berbau, berwarna dan keruh dan layak untuk didistribusikan kepada pelanggan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter Wajib Air Minum

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1.	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/ APHA
2.	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/ APHA
Fisik				
3.	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}C$	SNI/ APHA
4.	<i>Total Dissolve</i>	<300	mg/L	SNI/ APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
	<i>Solid</i>			
5.	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6.	Warna	10	TCU	SNI/ APHA
7.	Bau	Tidak berbau		
Kimia				
8.	pH	6,5 - 8,5	-	SNI/ APHA
9.	Nitrat (sebagai NO ₃) (terlarut)	20	mg/L	SNI/ APHA
10.	Nitrit (sebagai NO ₂) (terlarut)	3	mg/L	SNI/ APHA
11.	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/ APHA
12.	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/ APHA
13.	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/ APHA
14.	Sisa Klor (terlarut)	0,2-0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI/ APHA
15.	Arsen (As)	0,01	mg/L	SNI/ APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
	(terlarut)			
16.	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/ APHA
17.	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/ APHA
18.	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/ APHA
19.	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/ APHA

(Sumber: Permenkes No.2 Tahun 2023)

2.4 Bangunan Pengelolaan Air Minum

2.4.1 Bangunan Intake

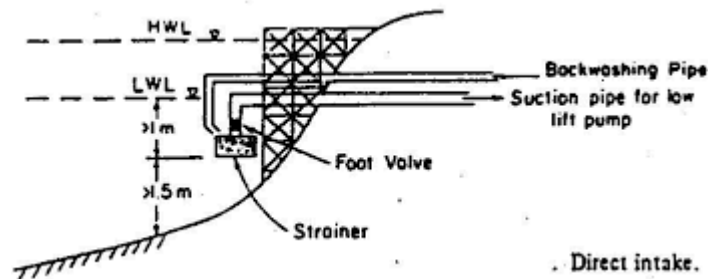
Bangunan Intake adalah bangunan pengambilan yang dilengkapi dengan pompa, dimana biasanya digunakan untuk kondisi elevasi lokasi daerah layanan lebih tinggi dari elevasi muka air sungai (sumber air baku). Intake umumnya ditempatkan tegak lurus dengan alur sisi tepi sungai, guna dapat mengambil debit air sungai. Berdasarkan konstruksinya bangunan intake penyedia air baku merupakan kombinasi dari pasangan batu kali, beton bertulang, pasang batu bata dan struktur baja. Bangunan intake berupa bangunan gedung dengan dasar bangunan berada pada elevasi yang sama dengan elevasi dasar sungai.

Dalam pengolahan air minum, bangunan intake berfungsi sebagai bangunan penyadap yang dibangun pada sumber air untuk mengambil air baku yang kemudian akan diolah dengan unit-unit pengolahan selanjutnya. Kapasitas bangunan intake yang digunakan harus sesuaikan dengan kebutuhan air harian maksimum. Intake untuk air permukaan dikelompokkan menjadi *river intake* dan

reservoir intake. *River intake* digunakan untuk air baku sungai, sedangkan *reservoir intake* digunakan pada air baku danau. Bangunan intake harus diletakkan di tempat yang mudah diakses serta didesain dan dibangun untuk memenuhi kuantitas tertentu dari sumber air baku yang ada. Selain *river intake* dan *river intake* terdapat beberapa macam jenis intake menurut (Susumu Kawamura, 2000), Bangunan yang digunakan sebagai intake dalam pengolahan air minum memiliki berbagai macam, antara lain:

1. Bangunan penyadap langsung

Digunakan untuk sumber air seperti Sungai atau danau dengan kedalaman yang cukup tinggi. Intake seperti memiliki Tingkat terjadinya erosi yang sangat besar pada bagian dinding dan pada bagian dasarnya.



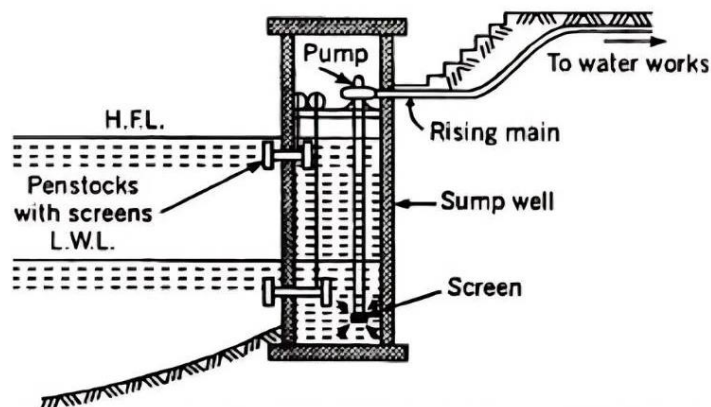
Gambar 2.1 Direct Intake

Sumber : Kawamura, 2000

2. Bangunan Penyadap tidak langsung (*Indirect Intake*)

- a. *River Intake*

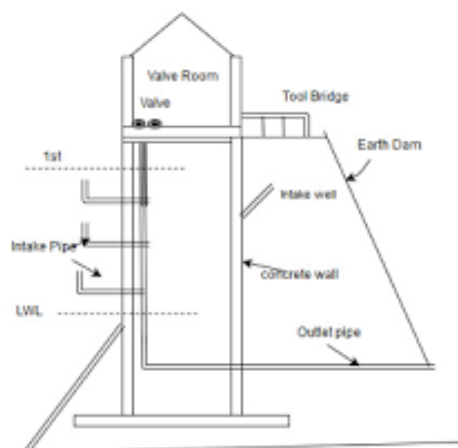
Menggunakan sistem pipa penyadap yang terhubung ke sumur pengumpul merupakan pilihan yang lebih ekonomis, terutama untuk sungai yang mengalami fluktuasi tinggi pada permukaan air antara musim hujan dan musim kemarau.



Gambar 2.2 River Intake

b. Reservoir Intake

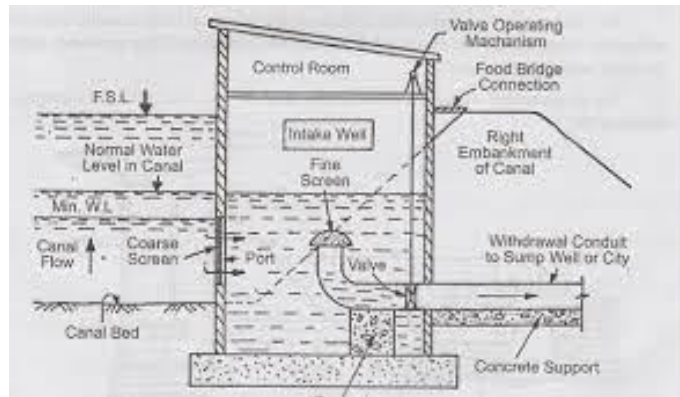
Reservoir Intake digunakan untuk air yang berasal dari bendungan dan mudah menggunakan menara. Menara Intake dengan bendungan dibuat terpisah dan diletakkan dibagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka Inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.



Gambar 2.3 Reservoir Intake

c. Canal Intake

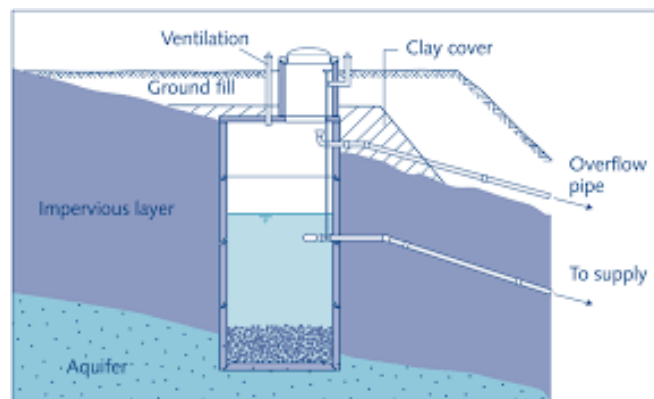
Canal Intake, *Intake* jenis ini digunakan pada bangunan penyadap air jenis *canal*, *Intake* jenis ini harus memiliki debit air yang stabil berbeda dengan *river intake*.



Gambar 2.4 Canal Intake

d. Spring Intake

Biasanya digunakan untuk air baku yang berasal dari mata air ataupun air tanah



Gambar 2.5 Spring Intake

Pada perancangan bangunan pengolahan air minum kali ini menggunakan bangunan penyadap tidak langsung (*Indirect Intake*) dengan tipe yang digunakan adalah *river intake*. Tipe ini mempunyai nilai yang lebih ekonomis untuk peruntukkan air baku dari air sungai dibandingkan dengan tipe – tipe intake lainnya. Dapat dinilai lebih ekonomis karena air sungai mempunyai level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang berbeda cukup tinggi. Sedangkan untuk screen, pada perancangan ini akan menggunakan *bar screen*. *Screen* bertujuan untuk menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa, dan pompa. Pemilihan *coarse screen*

merupakan pilihan tepat dikarenakan dapat menghilangkan benda - benda berukuran besar yang memiliki ukuran 6 – 150 mm.

Pada *screening* 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 - 1cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya. Umumnya unit *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° – 45° dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Saringan kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan lainnya dari kerusakan atau penyumbatan oleh kain dan benda besar (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: (1) merusak peralatan unit pengolahan 15 berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air.

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

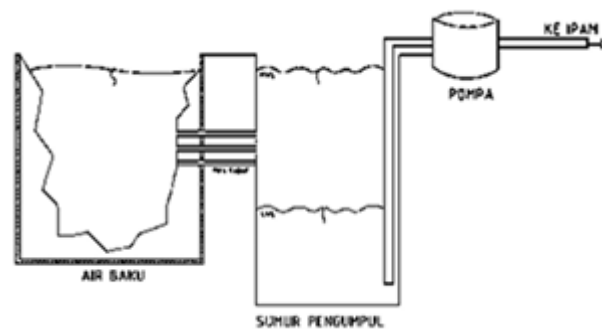
Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersih		Metode Pembersih	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran Batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	23 – 38
Jarak antar Batang	1,0 – 2,0	0,6 – 3,0	25 - 50	15 – 75
Parameter Lain				

Kemiringan thd vertikal (derajat)	30 - 45	0 - 30	30 - 45	0 – 30
Kecepatan	1,0 – 2,0 ft/s	2,0 – 3,25 ft/s	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1,0 m/s
Hradloss	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm

Sumber: (Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 315
316)

2.4.2 Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul berfungsi sebagai unit penampung air setelah melewati *screen* pada bangunan *intake*, di mana dirancang untuk menahan aliran air limbah secara sementara sekaligus mengeliminasi material berukuran besar dan padatan berat yang mudah mengendap, seperti fraksi pasir, sebelum memasuki tahapan pengolahan berikutnya (Metcalf & Eddy, 2014). Selain itu, sumur ini berperan penting dalam meredam fluktuasi debit agar sistem memperoleh kondisi hidraulik yang lebih stabil. Stabilitas aliran diperlukan untuk menjaga kinerja unit-unit proses berikutnya. Secara operasional, air limbah yang keluar dari proses produksi diarahkan menuju sumur pengumpul, di mana volume dan debitnya diatur sehingga memenuhi persyaratan desain unit berikutnya.



Gambar 2.6 Sumur Pengumpul

2.4.3 Bangunan Prasedimentasi

Fungsi utama dari bangunan bak prasedimentasi (*Plain Sedimentation Basins*) adalah untuk menghilangkan/mencegah partikel diskrit seperti *gravel*, pasir, lumpur maupun material kasar lainnya agar tidak masuk kedalam Instalasi Pengolahan Air (IPA) Dengan dibangunnya prasedimentasi pada suatu sistem

pengolahan air minum, material kasar yang terbawa oleh air baku dapat direduksi sampai ke tingkat minimal sesuai dengan rancang bangun yang akan diterapkan (Esther & Andjar, 2015). Desain unit prasedimentasi yang umum ditemukan adalah berbentuk persegi panjang dan bundar, dan terdiri dari empat bagian, yaitu bagian masuk (*inlet*), bagian pengendapan, bagian keluar (*outlet*), dan bagian lumpur. Beberapa elemen yang dapat mempengaruhi proses pengendapan mencakup laju limpasan (*overflow rate*), kecepatan horizontal (*vh*), bilangan Reynolds partikel, serta sifat aliran (Reynolds & Richards, 1996).

Pada bangunan prasedimentasi terdapat empat ruangan yaitu (Metcalf & Eddy, 2014):

1. *Zona Inlet*

Zona inlet merupakan daerah pertama tempat air limbah memasuki unit prasedimentasi. Pada tahap ini, energi kinetik aliran diatur dan didistribusikan agar tidak menimbulkan turbulensi berlebihan. Turbulensi yang tinggi dapat menghambat proses pengendapan karena partikel tersuspensi akan tetap terdispersi di dalam kolom air. Oleh karena itu, zona ini umumnya dilengkapi dengan *inlet baffle* atau penenang aliran untuk menciptakan pola aliran yang lebih seragam. Konsep ini merujuk pada prinsip distribusi aliran (*flow distribution*), yang memastikan bahwa air limbah tersebar merata ke seluruh penampang bak sehingga proses sedimentasi berikutnya dapat berjalan optimal.

2. *Zona Pengendap*

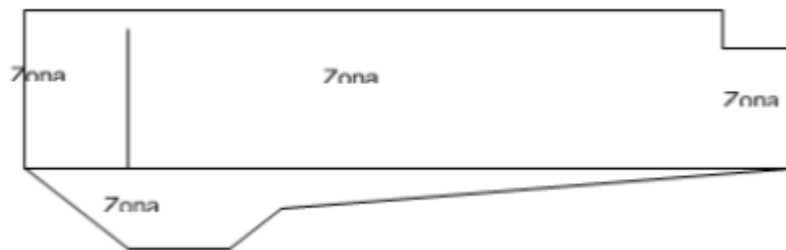
Dalam zona ini air bergerak secara perlahan dalam pola aliran laminar sehingga gaya gravitasi dapat bekerja maksimal untuk mengendapkan partikel yang memiliki kecepatan jatuh (*settling velocity*) lebih besar dari kecepatan *overflow* bak. Pada zona ini berlaku prinsip Hukum Stokes untuk partikel-partikel berukuran halus yang jatuh secara bebas, sementara partikel lebih besar umumnya mengendap melalui mekanisme *discrete settling* (Droste, 1997). Fokus utama zona ini adalah memberikan waktu tinggal hidraulik yang memadai sehingga fraksi pasir, kerikil halus, dan partikel berat lainnya dapat turun ke dasar bak tanpa terganggu oleh turbulensi.

3. Zona Sludge

Zona ini terletak di dasar bak prasedimentasi dan berfungsi sebagai lokasi akumulasi endapan yang sudah mengendap. Partikel yang jatuh akan terkumpul dan membentuk lapisan lumpur (*sludge blanket*). Secara teori, zona *sludge* harus mempertahankan kondisi aliran yang hampir tidak bergerak, sehingga gaya gravitasi tetap dominan dan tidak terjadi pencampuran kembali padatan ke dalam fase cair.

4. Zona Outlet

Zona *outlet* merupakan bagian akhir unit prasedimentasi, tempat air yang telah kehilangan sebagian besar padatan berat dialirkan menuju unit pengolahan berikutnya. Di area ini, *weir* atau saluran pelimpah dipasang untuk memastikan pengambilan air yang merata di seluruh lebar bak. Distribusi yang merata penting untuk mencegah *short-circuiting*, yakni kondisi ketika sebagian aliran melewati bak terlalu cepat tanpa mengalami proses pengendapan yang optimal. Zona *outlet* juga dirancang agar tidak menimbulkan gangguan hidraulik yang dapat menarik kembali endapan dari zona *sludge*.



Gambar 2.7 Tampak Samping Prasedimentasi

(Sumber : Qasim, 2000)

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

Tabel 2.3 Kriteria desain unit Prasedimentasi

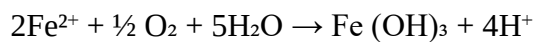
<i>Primary Sedimentation Tanks Followed by Secondary Treatment</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5 – 2,5	2	h	1,5 – 2,5	2
<i>Overflowrate</i>						
<i>Avarage flow</i>	gal/ft ² .d	800 - 1200	1000	m ³ /m ² .d	30 – 50	40
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	2000 - 3000	2500	m ³ /m ² .d	80 - 120	100
<i>Weir loading</i>	gal/ft.d	10.000 – 40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125 - 500	250
<i>Primary settling with waste activated-sludge return</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5 – 2,5	2	h	1,5 – 2,5	2
<i>Overflowrate</i>						
<i>Avarage flow</i>	gal/ft ² .d	600 - 800	700	m ³ /m ² .d	24 - 32	28
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	1200 - 1700	1500	m ³ /m ² .d	48 - 70	60
<i>Weir loading</i>	gal/ft.d	10.000 – 40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125 - 500	250

Sumber : (Metcalf & Eddy, 2003)

2.4.4 Aerasi

Bangunan aerasi merupakan unit awal dalam pengolahan air minum yang dirancang untuk meningkatkan kontak antara air baku dengan udara melalui proses transfer oksigen. Aerasi berfungsi untuk meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), menurunkan kadar gas-gas terlarut yang tidak diinginkan, serta memfasilitasi oksidasi awal terhadap beberapa senyawa kimia yang berdampak pada kualitas fisik dan estetika air minum. Proses ini memanfaatkan prinsip perpindahan massa (*mass transfer*) dari fase gas ke fase cair, yang terjadi ketika perbedaan tekanan parsial oksigen antara udara dan air memungkinkan terjadinya difusi ke dalam kolom air (Metcalf & Eddy, 2014). Secara hidraulik bangunan aerasi dirancang agar memungkinkan turbulensi terkontrol, sehingga luas permukaan kontak antara air dan udara meningkat.

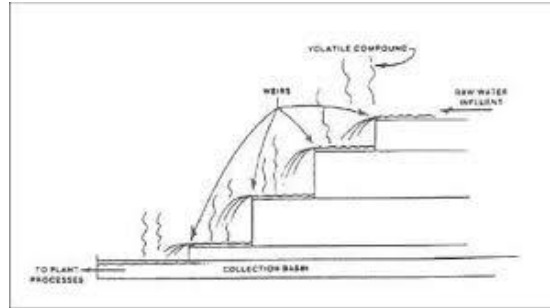
Ketika oksigen tersedia dalam jumlah cukup, Fe^{2+} akan bereaksi membentuk oksida atau hidroksida besi seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang bersifat koloidal dan kemudian mengendap menjadi flok yang lebih besar (Crittenden et al., 2012). Reaksi ini sangat dipengaruhi oleh pH, karena proses oksidasi berlangsung cepat pada kisaran pH netral hingga basa ringan. Dengan meningkatnya pH akibat pelepasan gas CO_2 dari aerasi, kondisi tersebut semakin mendukung pembentukan endapan besi yang stabil.



Terdapat beberapa jenis desain bangunan aerasi sebagai berikut:

1. *Cascade Aerator*

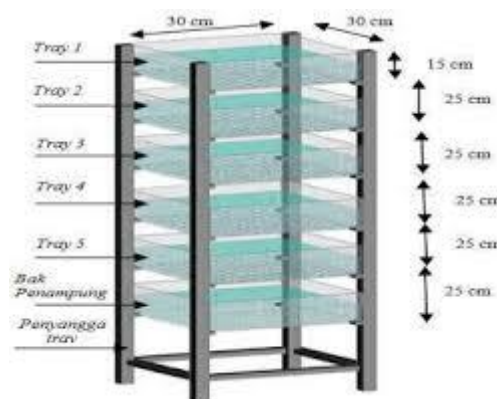
Pada dasarnya aerator ini terdiri dari 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dimana sumber air baku (sumur gali) dapat dilihat gambar 2.3, air di pompa dengan pompa menuju bak penampung yang di sanggah dengan tower kemudian air dialirkan ke *fascade* melalui keran lalu air akan berakhir di bak penampung. Dibanding dengan *tray aerators*, ruang yang diperlukan bagi *cascade aerators* agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah (Aini et al., 2022)



Gambar 2.8 Unit Cascade Aerator

2. Tray Aerator

Pengolahan air aerasi dengan metode *waterfall* aerator/*Multiple* aerator seperti gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator ini terdiri 3-8 *tray* dengan dasarnya penuh lobang-lobang, dan jarak antar tray 30-50 cm. Melalui pipa berlubang air dibagi rata melalui atas *tray*, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik permukaan *tray*. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap *tray* berikutnya dapat dilihat pada gambar 2.2. *Tray-tray* ini bisa di buat dengan bahan yang cocok seperti lempengan semen yang berlobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempeng yang terbuat dari kayu secara paralel (Zairinayati & Maftukhah, 2019)

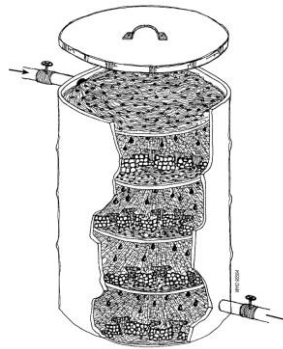


Gambar 2.9 Unit Tray Aerator

3. Multiple Tray Aerator

Multiple Tray Aerator terdiri dari suatu rangkaian bak yang disusun seperti rak (*tray*) dan dilubangi pada bagian dasarnya. Air dialirkan dari puncak

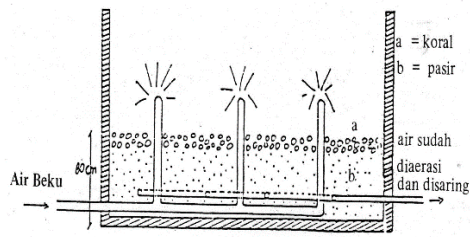
berupa air terjun kecil yang kemudian didistribusikan secara merata pada masing-masing rak (*tray*) dan kemudian dikumpulkan pada suatu bak di bagian dasarnya (*collecting pans*). Pemerataan distribusi air di atas *tray* sangat penting untuk memperoleh efisiensi perpindahan gas secara maksimum. Media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



Gambar 2.10 Unit Multiple Tray Aerator

4. *Spray Aerator*

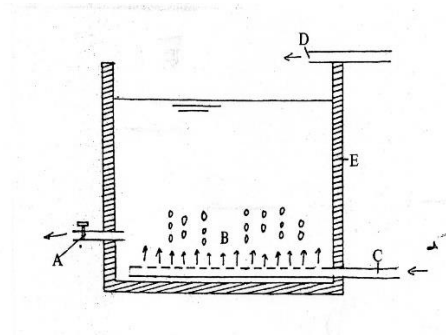
Terdiri atas nosel penyemprot yang tidak bergerak (*stationary nozzles*) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara sekeliling pada kecepatan 5-7 m/det. *Spray aerator* sederhana dapat di lihat pada gambar 2.5, dengan pengeluaran air kearah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm. Piringan melingkar ditempatkan beberapa centimeter dibawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nosel untuk *spray aerator* bentuknya bermacam-macam, ada juga nosel yang dapat berputar-putar (Joko, 2010).



Gambar 2.11 Unit Spray Aerator

5. *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 dinaikkan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi dapat dilihat pada gambar 2.6 (Lutfi, 2024).



Gambar 2.12 Unit Bubble Aerator

Keterangan:

A = Outlet

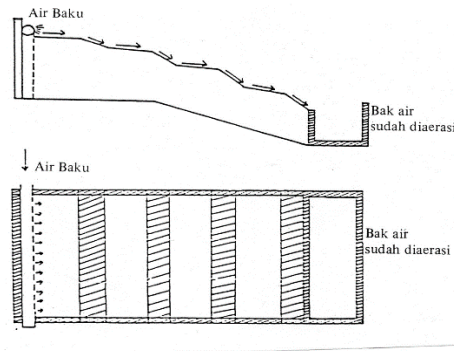
B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang untuk udara

E = Bak air

6. *Submerged Cascade Aerator*

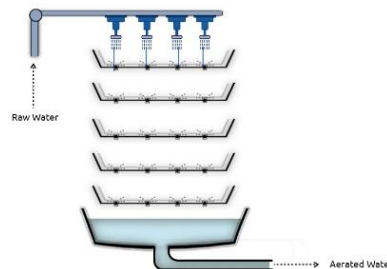
Aerasi tangga aerator seperti pada gambar di bawah ini penangkapan udaranya terjadi pada saat air terjun dari lempengan lempengan trap yang membawanya. Oksigen kemudian dipindahkan dari gelembung-gelembung udara ke dalam air. Total ketinggian jatuh kira-kira 1,5 m dibagi dalam 3-5 step. Kapasitas bervariasi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



Gambar 2.13 Unit Submerged Cascade Aerator

7. *Waterfall Aerator*

Waterfall aerator merupakan salah satu bentuk aerasi gravitasi yang memanfaatkan aliran air jatuh bebas dari ketinggian tertentu untuk meningkatkan kontak antara air dan udara. Prinsip kerjanya didasarkan pada pembentukan lapisan air tipis ketika air dituangkan melalui undakan atau pelimpah bertingkat. Ketika aliran tersebut terpecah menjadi percikan dan film tipis, luas permukaan air yang bersentuhan langsung dengan udara meningkat secara signifikan. Kondisi ini memperbesar koefisien perpindahan massa oksigen, sehingga proses oksigenasi dapat berlangsung lebih cepat.



Gambar 2.14 Unit *Waterfall Aerator*

2.4.5 Bangunan Netralisasi

Proses netralisasi dalam bangunan air minum merupakan tahapan pengolahan yang berfungsi untuk menyeimbangkan derajat keasaman air agar berada pada kisaran yang stabil untuk distribusi maupun konsumsi. Stabilitas pH menjadi penting karena kondisi air yang terlalu asam dapat mempercepat korosi pada jaringan perpipaan, sedangkan pH yang terlalu basa dapat menurunkan efektivitas

koagulasi dan menyebabkan rasa tidak nyaman pada air minum (Crittenden et al., 2012). Pada air yang bersifat asam, senyawa seperti kapur tohor (CaO), kapur hidrat (Ca(OH)_2), natrium hidroksida (NaOH), atau batu kapur (CaCO_3) sering digunakan untuk menambah alkalinitas dan meningkatkan pH. Reaksi antara reagen tersebut dengan ion H^+ menghasilkan air dan garam, sehingga pH bergerak menuju kondisi netral. Sebaliknya, pada air yang bersifat terlalu basa, penambahan asam kuat seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau karbonasi melalui injeksi CO_2 digunakan untuk menurunkan pH melalui pembentukan ion bikarbonat.

2.4.6 Bangunan Koagulasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi partikel koloid dengan cara penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan. Koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik menarik antara partikel lebih kecil dari pada gaya tolak menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil ini penggumpalan partikel tidak terjadi dan gerakan *Brown* menyebabkan partikel tetap berada sebagai suspensi. Melalui proses koagulasi terjadi destabilisasi, sehingga partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi besar. Dengan demikian partikel-partikel koloid yang pada awalnya sukar dipisahkan dari air, setelah proses koagulasi akan menjadi kumpulan partikel yang lebih besar sehingga mudah dipisahkan dengan cara sedimentasi, filtrasi atau proses pemisahan lainnya yang lebih mudah (Said, N. I, 2007).

Efisiensi koagulasi sangat dipengaruhi oleh pH karena memengaruhi spesies hidroksil koagulan (mis. Al(OH)_x) dan titik isoelektrik partikel. Alkalinitas menyediakan kapasitas penyangga agar pH tidak berubah drastis saat koagulan diinjeksikan. Suhu mempengaruhi kinetika reaksi dan viskositas; pada suhu rendah reaksi hidrolisis melambat sehingga pembentukan flok bisa lebih lama. Oleh karena itu penentuan dosis optimal selalu mempertimbangkan pH dan alkalinitas sumber air (Pivokonsky, 2024).

Tabel 2.4 Macam Koagulan Konvensional

Nama	Formula	Opt. pH range	Reaksi Dengan Air
Alumunium Sulfat (alum)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	5,5 – 8,0	Asam
Sodium Aluminate	NaAlO_2	6,0 – 8,5	Basa
Poly (Alumunium Chloride)	$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$	6,0 – 8,5	Bubuk Asam
Ferrous Sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8,5 – 11	Asam
Ferric Sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3,5 – 11	Asam
Ferric Chloride	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	4,0 - 11	Asam

Sumber : (Tanaka, 2008)

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. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulasi yaitu:

1. Pengaruh pH

Pada koagulan terdapat *range* pH optimum. Luasnya *range* pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

2. Pengaruh Temperatur

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

3. Dosis Koagulan

Air yang memiliki tingkat kekeruhan tinggi membutuhkan jumlah koagulan yang lebih besar untuk mencapai penggumpalan yang efektif. Pada air dengan kekeruhan rendah, dosis koagulan per satuan kekeruhan biasanya lebih kecil, karena jumlah partikel yang tersuspensi lebih sedikit sehingga frekuensi tumbukan antarpartikel menurun, dan proses netralisasi muatan tidak berjalan secara optimal. Akibatnya, pembentukan *mikroflok* menjadi terbatas dan kemampuan mengendapkan partikel juga berkurang, sehingga kekeruhan akhir dapat meningkat. Sebaliknya, pemberian koagulan secara berlebihan dapat menyebabkan kelebihan ion positif atau residu hidroksida yang tidak bereaksi, sehingga flok yang terbentuk menjadi rapuh atau kembali tersuspensi, yang justru meningkatkan kekeruhan. Oleh karena itu, penentuan dosis koagulan harus dioptimalkan melalui uji jarrest untuk menyeimbangkan antara efisiensi penghilangan partikel dan mencegah efek samping pada kualitas air.

4. Pengaruh Garam

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

5. Pengadukan (*mixing*)

Pengadukan dalam proses koagulasi berfungsi untuk meningkatkan frekuensi tumbukan antarpartikel sehingga proses netralisasi muatan dapat berlangsung secara optimal. Proses ini memastikan bahwa koagulan terdispersi merata di seluruh volume air, sekaligus memberikan energi yang cukup untuk memfasilitasi interaksi partikel yang telah mengalami netralisasi sehingga terbentuk *mikroflok*. Pada tahap ini, pengadukan biasanya dilakukan dengan kecepatan tinggi (*rapid mix*) untuk menjamin dispersi koagulan secara homogen. Selain itu,

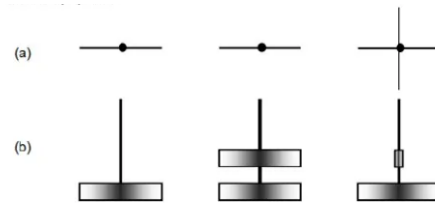
karakteristik air mempengaruhi intensitas pengadukan yang dibutuhkan, air dengan kekeruhan rendah memerlukan waktu atau intensitas pengadukan lebih besar dibandingkan air yang memiliki kekeruhan tinggi, karena jumlah partikel yang sedikit membutuhkan tumbukan lebih banyak agar terbentuk *mikroflok* yang cukup untuk fase *flocculation* berikutnya. Pendekatan ini sejalan dengan teori kinetika *flocculation*, di mana laju agregasi partikel dipengaruhi oleh energi geser, konsentrasi partikel, dan durasi pencampuran.

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatik. Pada pengadukan mekanis, digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), turbine, dan *propeller* (baling- baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan t_d . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis *impeller* yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT .

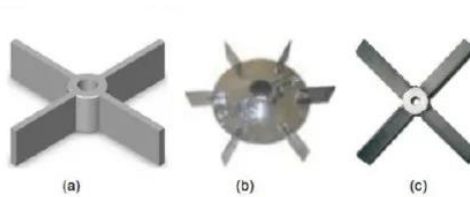
1) Pengadukan Mekanis

Pengadukan mekanis bertujuan memperoleh pencampuran cepat di mana dilakukan dalam waktu singkat pada satu wadah reaksi. Dalam perancangan sistem pengadukan mekanis, terdapat dua parameter penting yang harus diperhatikan, yakni laju geser rata-rata G dan waktu tinggal efektif t_d , karena keduanya berperan langsung dalam efisiensi pembentukan flok dan homogenisasi campuran. Peralatan pengaduk mekanis biasanya terdiri atas motor listrik sebagai penggerak utama, poros pengaduk (*shaft*), serta elemen pengaduk berupa *impeller* yang menyalurkan energi ke fluida. Berdasarkan geometri dan mekanismenya, alat pengaduk dibedakan menjadi tiga

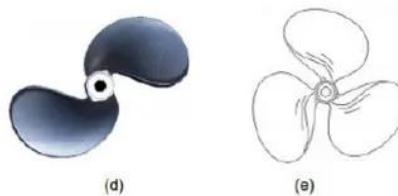
tipe utama: *paddle* (dayung), *turbine*, dan *propeller* (balong-balong), yang masing-masing memiliki karakteristik aliran dan kemampuan pencampuran yang berbeda. Penentuan tipe dan dimensi *impeller* serta kecepatan putarnya disesuaikan dengan sifat fluida dan tujuan proses, sesuai prinsip hidrodinamika pengadukan.



Gambar 2.15 Pengaduk Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2.16 Pengaduk Tipe Turbin (a) turbin blade lurus (b) turbin blade piringan (c) turbin blade menyerong
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2.17 Pengaduk Tipe Propeller (a) propeller 2 blade (b) propeller 3 blade
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Tabel 2.5 Tipe dan Kecepatan Impeller

<i>Tipe Impeller</i>	Diameter <i>Impeller</i>	Kecepatan <i>Impeller</i>	<i>Baffle</i> Dalam Bak	Keterangan
<i>Turbine</i>	30 – 50% dari diameter atau lebar bak	10 – 150 rpm	0,1 dari diameter atau lebar bak	
<i>Paddle</i>	50 – 80% dari diameter atau lebar bak	20 – 150 rpm	0,1 dari diameter atau lebar bak	Lebar <i>paddle</i> $\frac{1}{4}$ - 1/10 dari diameter atau lebar bak
<i>Propeller</i>	Max. 45 cm	400 – 1750 rpm	0,1 dari diameter atau lebar bak	Jumlah <i>pitch</i> 1-2 buah

Sumber : (T. D. Reynolds & Richards, 1996)

2) Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis dalam unit koagulasi merupakan metode yang memanfaatkan energi aliran air, khususnya perbedaan ketinggian atau *headloss* untuk menghasilkan turbulensi dan pencampuran koagulan secara cepat dan merata. Prinsip kerja dasarnya adalah aliran air yang terjun atau perubahan elevasi (atau saluran dengan sekat/*baffle*) menciptakan *gradient* kecepatan (G) dan waktu tinggal

(td) yang memenuhi syarat proses *rapid-mixing*. Dengan pengaturan desain seperti penggunaan saluran drop (terjunan), *baffle channel*, atau *flume*, pengadukan terjadi secara alami tanpa menggunakan energi listrik eksternal, sehingga metode ini hemat energi dan cocok untuk instalasi pengolahan air di lokasi dengan keterbatasan daya listrik (Rizqiain & Afrianisa, 2021).

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan ada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flock yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat *baffled channel*, *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya.

3) Pengadukan Pneumatik

Pengadukan pneumatik adalah metode di mana udara (gas) disuntikkan ke dalam air melalui *nozzle* atau *diffuser*, sehingga terbentuk aliran gelembung udara yang naik dan menghasilkan turbulensi dalam air proses ini membantu mendispersikan koagulan secara merata dalam air baku. Dalam konteks unit koagulasi air minum, teknik ini dapat digunakan sebagai alternatif atau pelengkap pengadukan mekanis dan hidrolis, terutama jika desain saluran sulit untuk dipasang atau jika persyaratan aliran air berubah-ubah (Linggasari, 2023). Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.

2.4.7 Bangunan Flokulasi

Flokulasi dan koagulasi merupakan tempat dimana proses penambahan zat kimia pembentuk flock atau koagulan kedalam air baku, sehingga bercampur dengan

koloid yang tidak dapat mengendap serta suspensi yang sulit untuk mengendap sehingga terbentuk flok-flok yang cepat mengendap. Setelah pengadukan cepat, air dialirkan ke proses flokulasi, dimana terbentuk flok-flok yang lebih besar pada pengadukan lambat. Pengadukan tidak boleh terlalu cepat karena dapat mengakibatkan pecahnya flok yang sudah terbentuk.

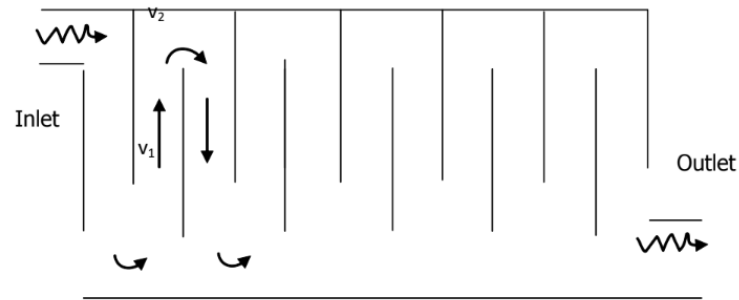
Proses flokulasi dalam pengolahan air bertujuan untuk mempercepat proses penggabungan flok-flok yang telah dibibitkan pada proses koagulasi. Partikel-partikel yang telah distabilkan selanjutnya saling bertumbukan serta melakukan proses tarik-menarik dan membentuk flok yang ukurannya makin lama makin besar serta mudah mengendap. Gradien kecepatan merupakan faktor penting dalam desain bak flokulasi. Jika nilai gradien terlalu besar maka gaya geser yang timbul akan mencegah pembentukan flok, sebaliknya jika nilai gradient terlalu rendah/tidak memadai maka proses penggabungan antar partikulat tidak akan terjadi dan flok besar serta mudah mengendap akan sulit dihasilkan.

Flokulasi dibedakan menjadi:

- 1) Mikroflokulasi (flokulasi perikinetik)
terjadi ketika partikel teragregasi karena gerakan termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut *Brownian Motion*.
- 2) Makroflokulasi (flokulasi ortokinetik)
terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien-gradien kecepatan dan pencampuran dalam media. Bentuk lain dari makroflokulasi disebabkan oleh pengendapan diferensial, yaitu ketika partikel-partikel besar menarik partikel-partikel kecil membentuk partikel-partikel yang lebih besar. Makroflokulasi belum efektif sampai partikel-partikel koloid mencapai ukuran 1-10 μm melalui kontak yang didorong oleh *Brownian Motion* dan sedikit pencampuran.

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

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



Gambar 2.18 Baffel Chanel Dengan Aliran Horizontal

Sumber: (Penyusunan Rencana Induk Sistem Pelayanan Air Minum (RI-SPAM))

Jenis aliran pengadukan di *baffel chanel* terdiri dari dua macam yaitu aliran horizontal (zig-zag) dan aliran vertikal (*up and down*), perancangan ini menggunakan aliran horizontal. Pada kedua jenis aliran pada *baffel chanel* ini pada prinsipnya akan terjadi peristiwa kehilangan tekanan air/ *headloss* h , yang selanjutnya akan menciptakan Power dan menghasilkan *gradient velocity* (G).

2.4.8 Bangunan Sedimentasi

Merupakan unit pemisahan atau pengendapan (*Solid Liquid Separation*) untuk menghilangkan partikel diskrit air, menghilangkan flok-flok, serta presipitat yang terbentuk selama proses pengolahan air dengan cara gravitasi tanpa bantuan zat kimia. Dimana bahan dipisahkan dari cairan atau suspensinya sehingga diperoleh cairan yang lebih jernih. Sedimentasi dilakukan jika kekeruhan air melebihi 5 NTU atau 25 mg/l SiU2. Sedimentasi dapat dilakukan setelah proses flokulasi partikel koloid serta ditetapkan setelah dilakukan proses pengurangan besi dan mangan yang tinggi di dalam air baku, karena proses sedimentasi tidak dapat

menghilangkan partikel-partikel koloid yang terdapat pada air baku. Partikel diskrit non-koloid yang tersuspensi didalam air baku akan dipengaruhi oleh gaya vertikal ke bawah dan gaya horizontal sepanjang aliran yang laminar. Apabila kecepatan partikel mengendap (V_s) lebih kecil daripada kecepatan mengendap V_o , maka partikel diskrit tersebut akan terbawa oleh aliran yang laminar. Apabila kecepatan partikel mengendap (V_s) lebih kecil daripada kecepatan mengendap V_o , maka partikel diskrit tersebut akan terbawa oleh aliran air, sebaliknya apabila $V_s > V_o$ partikel diskrit tersebut akan mengendap.

Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi yakni:

1. Tipe 1

Sedimentasi Tipe I dicirikan oleh partikel-partikel yang mengendap secara terpisah dengan kecepatan pengendapan yang konstan. Partikel-partikel ini mengendap sebagai partikel-partikel individual dan tidak berflokulasi selama pengendapan. Contoh partikel-partikel ini adalah pasir dan *grit* (campuran partikel *abrasif* yang dapat berupa pasir, pecahan kaca, dll.). Secara umum, satu-satunya aplikasi pengendapan Tipe I adalah selama prasedimentasi untuk menghilangkan pasir sebelum koagulasi di instalasi air minum, dalam pengendapan partikel pasir.

2. Tipe 2

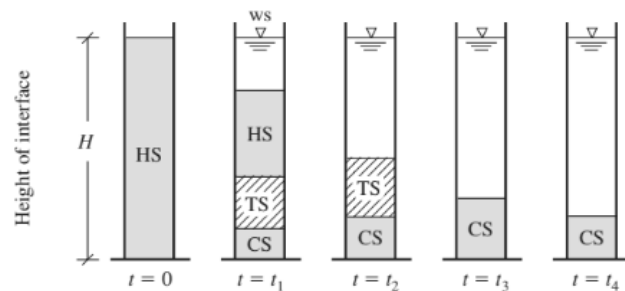
Sedimentasi Tipe II dicirikan oleh partikel-partikel yang mengalami flokulasi selama sedimentasi. Partikel-partikel jenis ini terdapat dalam koagulasi tawas atau besi, sedimentasi primer air limbah, dan dalam tangki pengendapan. Persamaan *Stokes* tidak dapat digunakan karena partikel-partikel yang mengalami flokulasi terus berubah ukuran dan bentuknya. Selain itu, ketika air terperangkap dalam flok, berat jenisnya juga berubah.

3. Tipe 3 dan Tipe 4

Ketika air mengandung konsentrasi partikel yang tinggi (misalnya, lebih dari 1.000 mg/L). Dengan konsentrasi partikel yang tinggi, area bebas antar partikel berkurang. Hal ini menyebabkan kecepatan fluida antarpartikel yang

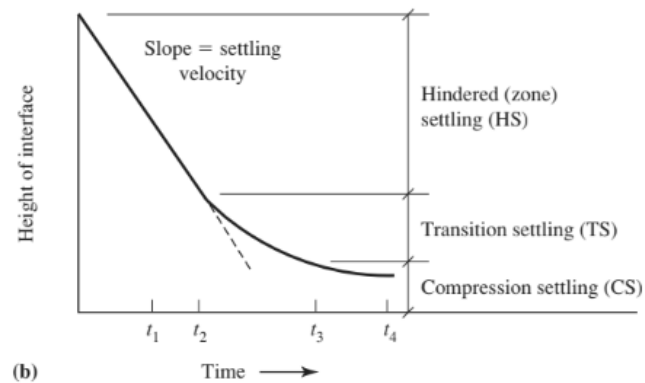
lebih besar yang mengurangi kecepatan pengendapan di bawah kecepatan partikel individual. Karena konsentrasi partikel yang tinggi, cairan cenderung bergerak ke atas melalui celah antarpartikel. Akibatnya, partikel-partikel yang bersentuhan cenderung mengendap.

Besarnya Partikel yang mengendap di uji dengan *column settling test* dengan *multiple withdraw ports*. Dengan menggunakan kolom pengendapan tersebut, sapling dilakukan pada setiap port pada interval waktu tertentu, dan data removal partikel diplot pada grafik



Gambar 2.19 Kolom Test Sedimentasi

Sumber: (Davis, M. L.,2011)



Gambar 2.20 Grafik Iso removal

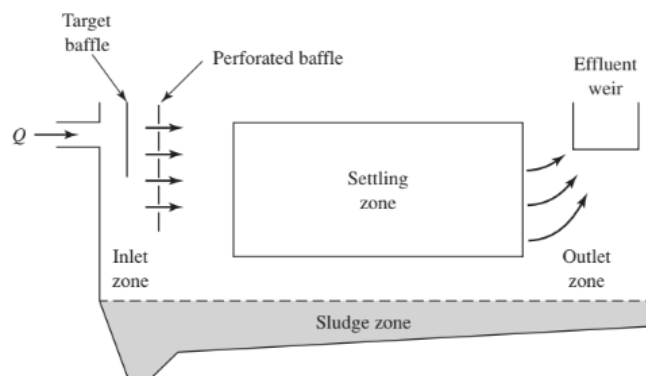
Sumber: (Davis, M. L.,2011)

Grafik ini digunakan untuk menentukan waktu pengendapan atau waktu detensi (t_d) dan *overflow rate* (V_o) yang menghasilkan efisiensi pengendapan tertentu. Hasil yang diperoleh dari kedua grafik ini adalah nilai berdasarkan

eksperimen di laboratorium (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 (T. D. Reynolds & Richards, 1982)

Sama seperti bak prasedimentasi pada bak pengendapan terdiri dari beberapa zone, diantaranya yaitu:

- Zone *Inlet*, merupakan tempat air terdistribusi secara merata, dimana partikel menyebar keseluruh bagian bak pengendapan, $V_s = V_o$.
- Zone Pengendapan, tempat mengendapkan partikel-partikel tersuspensi dalam kondisi diam, $V_s = V_o$.
- Zone Lumpur, tempat mengumpulkan endapan lumpur, $V_s = V_o$.
- Zone *Outlet*, tempat mengalirkan air yang mengandung partikel yang tidak dapat diendapkan untuk dikeluarkan dari bak pengendapan.



Gambar 2.21 Tampak Samping Unit Sedimentasi

Sumber: (Davis, M. L., 2011)

Pada bangunan bak sedimentasi terdapat dua jenis bak sedimentasi yang biasa digunakan yaitu:

a. Horizontal – *Flow Sedimentation*

Desain yang efektif pada struktur ini mampu menurunkan kekeruhan air hingga lebih dari 95 persen, sebagaimana dijelaskan dalam prinsip-prinsip sedimentasi klasik yang dikembangkan oleh *Stokes*, di mana kecepatan

pengendapan partikel dipengaruhi oleh gaya gravitasi, viskositas fluida, dan ukuran partikel. Bentuk persegi panjang tanpa bantuan mekanis untuk pengangkutan lumpur menawarkan keunggulan adaptabilitas terhadap fluktuasi kondisi air, termasuk variasi kekeruhan, peningkatan laju aliran, atau lonjakan debit mendadak.

Proses operasi bak sedimentasi persegi panjang melibatkan masuknya air yang mengandung flok ke zona *inlet*, kemudian melalui *baffle* atau sekat untuk mencapai aliran laminar menuju zona pengendapan. Di zona tersebut, partikel mengalami sedimentasi, dengan endapan terkumpul di zona lumpur, sementara air jernih (*supernatant*) dialirkan keluar via zona *outlet*. Keunggulan aliran horizontal dibandingkan aliran vertikal terletak pada kemampuannya yang lebih besar untuk menangani variasi kualitas dan parameter hidraulik air, sebagaimana diuraikan dalam teori desain bak sedimentasi oleh Hazen, yang menyoroti efisiensi *overflow rate* dan waktu tinggal dalam mengoptimalkan pemisahan partikel.

b. *Upflow* Sedimentation

Struktur bangunan jenis ini umumnya diterapkan pada kondisi debit air yang stabil dan tingkat kekeruhan tidak melebihi 900 NTU. Namun, kekurangannya terletak pada ketidakmampuan menangani kapasitas berlebih serta kebutuhan akan keahlian teknis untuk pengoperasiannya, yang dapat meningkatkan risiko kesalahan operasional.

Kontaminasi air oleh bahan organik sering merusak ekosistem akuatik dan memicu emisi bau yang tidak diinginkan. Maka pengolahan melalui penambahan bahan kimia guna menetralkan kondisi dan mempercepat agregasi partikel halus, yang kemudian dilanjutkan dengan proses pengendapan untuk menurunkan kandungan organik. Proses ini, yang dikenal sebagai koagulasi, bertujuan memisahkan koloid ultra-halus dalam air menjadi flokulan yang dapat diendapkan, disaring, atau diapungkan dalam pembentukan gumpalan. 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 (2007), adanya waktu tinggal, penambahan bahan kimia, serta pengadukan sebelum unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan BOD sekitar 50-80% (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Dalam bangunan sedimentasi ini terdapat kriteria desain yang dapat digunakan dalam mempermudah desain. Adapun kriteria desain tersebut adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air = 3 – 4,5 m
- Kecepatan aliran = 0,3 – 1,7m/min
- Waktu detensi = 1,5 – 4 jam
- *Surface loading* = 1,25 – 2,5 m/jam
- Panjang/lebar = minimum $\frac{1}{4}$
- Kedalaman air/panjang = minimum 1/15
- *Weir loading rate* = 9 – 13 m³/m.jam

Bak sedimentasi dapat berupa *circular*, *rectangular* atau *square* dengan kedalaman 2-5 m. Dimana rectangular mempunyai panjang sampai 50 m dan lebar 10 m sedangkan *square* tank mempunyai panjang $\pm$ 2,5 m. Slope ruang lumpur berkisar antara 2% - 6%, bilangan Reynolds < 2000 agar aliran laminar.

2.4.9 Bangunan Filtrasi

Pada perancangan air minum ini menggunakan 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 & A.F. Assomadi, 2012). Kriteria perencanaan filter pasir lambat:

Tabel 2.6 Kriteria Filter Pasir Lambat

Kriteria	Nilai/ Keterangan
Kcepatan filtrasi	0,1 – 0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m ²
Kedalaman Bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran pasir	Ukuran efektifitas 0,25-0,3 mm, uniformity coefficient 2-3
Distribusi ukuran media	Tidak terstratifikasi
Sistem underdrain	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan energi	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter run	20-60 hari
Metode pembersihan	Menggambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Air untuk pembersihan	0,2-0,6 % dari air tersaring
Pengelolaan pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya konstruksi	Relative rendah
Biaya operasi	Relative rendah
Biaya depresiasi	Relative rendah

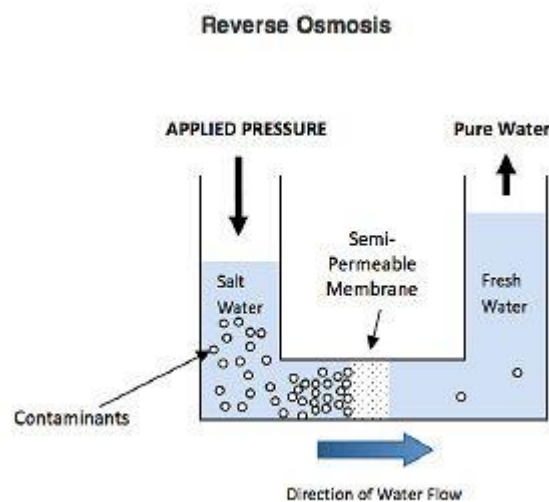
Sumber : Schulz & D. A. Okun, 1984

2.4.10 Reverse Osmosis

Reverse Osmosis (RO) telah menjadi salah satu teknologi pengolahan air yang paling efektif dan banyak digunakan dalam beberapa dekade terakhir. Metode ini memanfaatkan prinsip osmosis terbalik untuk memisahkan kontaminan dari air

dengan menggunakan tekanan tinggi dan membran semi-*permeable* (Greenlee et al., 2009).

RO mampu menghilangkan berbagai jenis kontaminan, termasuk garam terlarut, mikroorganisme, dan senyawa organik. Efisiensi penghilangan kontaminan oleh sistem RO dapat mencapai lebih dari 99% untuk banyak jenis polutan (Fritzmann et al., 2007). Hal ini menjadikan RO sebagai pilihan utama untuk desalinasi air laut, pengolahan air limbah, dan produksi air minum berkualitas tinggi.



Gambar 2.22 Proses kerja unit *reverse osmosis*

Meskipun efektif, RO juga memiliki beberapa tantangan. Salah satunya adalah fouling membran, yang dapat mengurangi efisiensi dan umur pakai sistem (Jiang et al., 2017). Untuk mengatasi hal ini, berbagai metode pretreatment dan pembersihan membran telah dikembangkan.

Perkembangan terbaru dalam teknologi RO meliputi pengembangan membran baru dengan permeabilitas lebih tinggi dan lebih tahan *fouling*, serta optimasi desain sistem untuk meningkatkan efisiensi energi (Werber et al., 2016). Inovasi-inovasi ini diharapkan dapat semakin meningkatkan kinerja dan keberlanjutan sistem RO di masa depan.

- ***Anti-Scalant***

Anti-scalant adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air umpan sistem RO untuk mencegah pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran. Kerak ini umumnya terdiri dari mineral seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat, atau silika, yang dapat mengendap pada membran ketika konsentrasinya meningkat selama proses RO (Antony et al., 2011).

Fungsi utama *anti-scalant* adalah mengganggu proses kristalisasi dan pertumbuhan kristal, sehingga mencegah pembentukan kerak pada membran. Ini dilakukan melalui beberapa mekanisme, termasuk penghambatan pertumbuhan kristal, modifikasi struktur kristal, dan dispersi partikel (Shahid & Choi, 2018).

Penggunaan *anti-scalant* yang efektif dapat meningkatkan kinerja sistem RO dengan:

1. Memperpanjang umur membran
2. Mempertahankan fluks air yang tinggi
3. Mengurangi frekuensi pembersihan membran
4. Meningkatkan efisiensi energi sistem

Pemilihan jenis dan dosis *anti-scalant* yang tepat sangat penting dan tergantung pada komposisi air umpan, kondisi operasi sistem, dan jenis membran yang digunakan (Jiang et al., 2017).

Perkembangan terbaru dalam teknologi anti-scalant meliputi pengembangan bahan yang lebih ramah lingkungan dan efektif pada konsentrasi yang lebih rendah. Beberapa penelitian juga fokus pada kombinasi anti-scalant dengan bahan lain untuk meningkatkan efektivitasnya dalam mencegah *fouling* membran (Pramanik et al., 2017).

2.4.11 Bangunan Desinfeksi

Penyebaran bakteri Koliform dari manusia ke manusia yang lain dapat terjadi melalui jalur fekal oral yaitu dengan cara manusia memakan makanan atau minuman yang terkontaminasi feses manusia atau hewan melalui media air, tangan, ataupun lalat. Infeksi yang penting secara klinis biasanya disebabkan oleh *E. coli*, tetapi tidak menutup kemungkinan bakteri Koliform lain seperti *Salmonella* sp dan

Shigella sp bersifat pathogen apabila termakan. Maka dari itu diperlukannya pengelolaan air minum bangunan desinfeksi untuk menghilangkan bakteri koliform.

Desinfeksi adalah tindakan membunuh organisme pathogen dengan cara fisik atau kimia, dan dilakukan terhadap benda mati. Hal ini berbeda dengan antiseptis yang merupakan tindakan mencegah pertumbuhan atau aktivitas mikroorganisme, baik dengan menghambat atau membunuh, yang dilakukan terhadap jaringan hidup. Khlorinasi adalah proses untuk pengaman terhadap mikroorganisme patogen. Pemusnahan patogen dan parasit dengan cara desinfeksi sangat membantu dalam penurunan wabah penyakit akibat konsumsi air dan makanan.

Tujuan utama dari proses desinfeksi adalah untuk memenuhi persyaratan bakteriologis bagi air minum, karena proses-proses pengolahan prasedimentasi, flokulasi-koagulasi, sedimentasi dan filtrasi masih masih meloloskan bakteri/mikroorganisme yang tidak diharapkan ada dalam air minum. Desinfektan yang dipakai misalnya klor dapat bermanfaat untuk mengoksidir zat organik sebagai reduktor, mengurangi bau, mencegah berkembangbiaknya bakteri pada sistem distribusi air. Desinfeksi adalah memusnahkan mikro-organisme yang dapat menimbulkan penyakit. Desinfeksi merupakan benteng manusia terhadap paparan mikro-organisme patogen penyebab penyakit, termasuk di dalamnya virus, bakteri dan protozoa parasit (Bitton, 1994).

Terdapat beberapa faktor Yang Berpengaruh Terhadap Proses Desinfeksi :

1. Jenis Desinfektan

Efisiensi desinfektan tergantung pada jenis bahan kimia yang digunakan, beberapa desinfektan seperti ozon dan khlorine dioksida merupakan oksidator yang kuat dibandingkan dengan yang lainnya seperti khlorine.

2. Jenis Mikroorganisme

Di alam terdapat banyak sekali variasi mikroba patogen yang resisten terhadap desinfektan. Bakteri pembentuk spora umumnya lebih resistan terhadap desinfektan dibandingkan bakteri vegetatif. Terdapat juga variasi dari bakteri vegetatif yang resisten terhadap desinfektan dan juga diantara *strain* yang termasuk dalam spesies yang sama.

3. Konsentrasi Desinfektan Dan Waktu Kontak

Inaktivasi mikroorganisme patogen oleh senyawa desinfektan bertambah sesuai dengan waktu kontak.

4. Pengaruh pH

Dalam hal disinfeksi dengan senyawa klor, pH akan mengontrol jumlah HOCl (asam *hypochlorit*) dan OCl⁻ (*hypoklorit*) dalam larutan. Pada inaktivasi bakteri, virus dan kista protozoa umumnya lebih efektif pada pH tinggi. Pengaruh pH pada inaktivasi mikroba dengan khloramin tidak diketahui secara pasti karena adanya hasil yang bertentangan. Pengaruh pH pada inaktivasi patogen dengan ozon juga belum banyak diketahui secara pasti.

5. Temperatur

Inaktivasi patogen dan parasit meningkat sejalan dengan meningkatnya temperatur.

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 desineksi 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

Dalam proses memusnahkan organisme *pathogen* terdapat berbagai macam disinfeksi dengan metode yaitu:

1. Disinfeksi dengan ozon

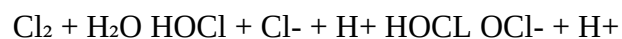
Ozon adalah zat pengoksidasi kuat sehingga dapat melakukan kerusakan bakteri antara 600-3000 lebih kuat dari klorin. Penggunaannya tidak dipengaruhi oleh pH air, sedangkan klorin sangat bergantung pada pH air. Mekanisme produksi ozon adalah eksitasi dan percepatan *electron* yang tidak beraturan dalam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

2. Disinfeksi dengan UV

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. Disinfeksi dengan pembubuhan kimia

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



4. Disinfeksi 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.

Dalam perancangan kali ini, kami menggunakan metode disinfeksi 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, Benny, 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. 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.

2.4.12 Reservoir

Reservoir pengolahan air minum merupakan komponen penting dalam sistem penyediaan air bersih. Fungsi utamanya adalah menyimpan air yang telah diolah sebelum didistribusikan ke konsumen. Selain itu, reservoir juga berperan dalam menjaga tekanan air yang stabil dan sebagai cadangan air saat terjadi fluktuasi permintaan atau keadaan darurat. Desain reservoir harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti kapasitas, lokasi, dan material konstruksi. Kapasitas reservoir ditentukan berdasarkan proyeksi kebutuhan air dan fluktuasi penggunaan harian. Pemilihan lokasi yang tepat dapat mengoptimalkan distribusi air dan meminimalkan biaya pemompaan. (Crittenden et al., 2012).

Material konstruksi reservoir umumnya menggunakan beton bertulang atau baja, dengan pertimbangan utama pada kekuatan struktur, kedapatan, dan ketahanan terhadap korosi. Inovasi terbaru dalam desain reservoir mencakup penggunaan *membrane floating cover* untuk mengurangi penguapan dan kontaminasi. Pemeliharaan reservoir meliputi pembersihan berkala, inspeksi struktur, dan pemantauan kualitas air. Praktik yang baik dalam pemeliharaan reservoir dapat memperpanjang umur pakai dan menjaga kualitas air yang disimpan (*American Water Works Association*, 2017).

Berdasarkan tinggi relatif reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu reservoir permukaan dan reservoir menara.

1. *Elevated Reservoir* (Menara Reservoir)

Menara reservoir dapat direncanakan dari kebutuhan air minum yang diperlukan untuk instalansi pengolahan air minum tersebut, dengan mengetahui jumlah dan pemakaian air untuk instalansi dapat direncanakan dimensi menara instalansi dan ketinggiannya. Reservoir ini digunakan bila *head* yang tersedia dengan menggunakan *ground* reservoir tidak mencukupi kebutuhan untuk distribusi. Dengan menggunakan *elevated* reservoir maka air dapat didistribusikan secara gravitasi. Tinggi menara tergantung kepada *head* yang dibutuhkan.



Gambar 2.23 Elevated Reservoir

2. Ground Reservoir

Ground reservoir berfungsi sebagai penampung air bak filtrasi, sebelum masuk ke dalam *ground reservoir*, air tersebut harus diinjeksi dengan *chlor* yang sudah dilarutkan. *Ground reservoir* dilengkapi dengan *baffle* untuk mencampur dan mengaduk *chlor* dalam air. *Ground reservoir* dibangun di bawah tanah atau sejajar dengan permukaan tanah. Reservoir ini digunakan bila *head* yang dimiliki mencukupi untuk distribusi air minum. Jika kapasitas air yang didistribusikan tinggi, maka diperlukan *ground reservoir* lebih dari satu.



Gambar 2.24 Ground Reservoir

2.4.13 Belt Filter Press

Sebagian besar dari jenis *belt filter press*, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Di beberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan *vacuum* yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, di mana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir pengeringan *cake* lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *scraper blade*. Sistem operasi jenis *belt filter press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), *belt filter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung. Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variabel yang mempengaruhi cara kerja dari *belt filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode serta kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Belt filter press* ini sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem di mana karakteristik lumpur beraneka ragam. *Belt filter press* mempunyai ukuran lebar *belt* dari 0,5 – 3,5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung

pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidroulik pada lebar *belt* antara 1,6 – 6,3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan hidrogen sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.

Pada perancangan pengolahan air minum sumber Sungai Kalidami Surabaya, memilih menggunakan *Belt filter Press* dengan rencana unit penampung lumpur ini karena mampu menghasilkan lumpur dengan kadar padatan yang lebih tinggi (*cake* lebih kering) sehingga volume lumpur yang harus diangkut menjadi lebih kecil, sangat penting untuk wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan keterbatasan lahan. Sistem ini bekerja secara kontinu, sehingga cocok untuk unit prasedimentasi dan sedimentasi. Dibandingkan *drying bed*, *belt filter press* membutuhkan area yang jauh lebih kecil, waktu pengeringan lebih singkat, dan tidak bergantung pada kondisi cuaca, yang sangat relevan untuk iklim tropis lembab seperti Surabaya. Selain itu, prosesnya tertutup relatif lebih higienis, meminimalkan bau dan gangguan lingkungan sekitar, serta memudahkan pengendalian operasional dan sanitasi. Dengan karakteristik tersebut, *belt filter press* menjadi pilihan yang efisien, kompak, dan ramah lingkungan untuk pengelolaan lumpur IPAM di kawasan perkotaan padat penduduk.

2.5 Persen Removal

Berikut ini merupakan persen removal yang diketahui pada unit bangunan pengolahan air minum yang akan dirancang.

Tabel 2.6 Persen Removal Unit Pengolahan

No.	Parameter	Unit Bangunan	Persen Removal	Sumber
1.	Kekeruhan	- Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi	- 80 % - 90% - 90%	Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Opereations and Processess in Environmental Engineering</i> , page 130

No.	Parameter	Unit Bangunan	Persen Removal	Sumber
2.	pH	Netralisasi	8	Tanaka, T. 2008. <i>Water Treatment and Operation</i> . Tokyo: Japan Water Works Association (JWWA).
3.	Besi (Fe)	Cascade Aerasi	90%	Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224
4.	Total Coliform	Desinfeksi	100%	Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224
5.	Nitrat	- Filtrasi - Reverse Osmosis	- 40% - 90%	Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224
6.	TDS	- Reverse Osmosis	- 90%	Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224 Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processes in</i>

No.	Parameter	Unit Bangunan	Persen Removal	Sumber
				<i>Environmental Engineering, page 408</i>

2.6 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing-masing unit instalasi. Profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Profil Hidrolis IPAM adalah merupakan upaya penyajian secara *grafis* “*hydrolic 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-hal yang perlu diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut :

1. Kehilangan Tekanan pada bangunan pengolahan

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

- a. kehilangan tekanan pada saluran
- b. kehilangan tekanan pada bak
- c. kehilangan tekanan pada pintu

2. Kehilangan Tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris lainnya yang berhubungan dengan bangunan pengolahan.

3. 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.