

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Air baku merupakan air yang berasal dari berbagai sumber air permukaan, air tanah, maupun air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai bahan dasar baku untuk diolah menjadi air minum atau air bersih siap konsumsi. Dalam konteks penyediaan air bersih perkotaan, air permukaan seperti sungai, danau, dan kanal buatan menjadi pilihan utama karena mampu menyediakan kuantitas debit yang besar dan kontinu guna memenuhi proyeksi kebutuhan populasi yang dilayani. Penentuan kelayakan suatu sumber air baku harus didasarkan pada kajian komprehensif yang mempertimbangkan aspek kuantitas secara fluktuatif sepanjang tahun serta aspek kualitas guna mengidentifikasi jenis dan konsentrasi polutan yang terkandung di dalamnya (Kawamura, 2000).

Secara regulasi, karakteristik air baku di Indonesia diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas berdasarkan peruntukannya guna mempermudah penentuan tingkat pengolahan yang diperlukan. Perlindungan dan pengawasan kualitas sumber air ini diatur secara ketat untuk memastikan bahwa beban pencemaran antropogenik, seperti limbah domestik dan limpasan pertanian, tidak melampaui kapasitas daya dukung lingkungan perairan. Analisis parameter fisik, kimia, dan biologis secara berkala pada titik pengambilan (*intake*) menjadi langkah preventif yang krusial agar fluktuasi polutan yang ekstrem tidak mengganggu efisiensi kinerja unit-unit operasi pada instalasi pengolahan air minum downstream (Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021).

2.2 Karakteristik Air Baku

Karakteristik air baku merupakan sifat-sifat fisik, kimia, dan biologis yang dimiliki oleh air dari sumber alami sebelum mengalami proses pengolahan lebih lanjut. Pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik ini sangat menentukan dalam pemilihan jenis teknologi, dimensi bangunan, serta dosis bahan kimia yang akan diterapkan pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Karakteristik air permukaan cenderung bersifat sangat dinamis karena mudah dipengaruhi oleh

kondisi meteorologi seperti curah hujan, laju erosi di hulu, serta aktivitas antropogenik di sekitar daerah aliran sungai (DAS) yang menimbulkan buangan limbah domestik maupun industri. Oleh karena itu, identifikasi karakteristik air baku melalui pengujian laboratorium secara berkala mutlak diperlukan untuk memastikan variasi kualitas air yang fluktuatif tetap dapat ditangani oleh sistem pengolahan secara optimal (Metcalf & Eddy, 2003).

2.3 Parameter Fisik

Parameter fisik merupakan sekumpulan indikator kualitas air yang dapat diindra dan dievaluasi secara langsung melalui panca indera manusia maupun diukur dengan peralatan lapangan sederhana tanpa memerlukan reaksi kimia yang kompleks. Pemeriksaan parameter ini menjadi langkah awal yang sangat krusial dalam program pemantauan kualitas air baku karena memberikan indikasi cepat mengenai estetika air serta potensi adanya pencemaran lingkungan perairan. Karakteristik fisik air permukaan, seperti tingkat kekeruhan, jumlah padatan terlarut (TDS), padatan tersuspensi (TSS), suhu, warna, serta bau dan rasa, secara langsung dapat memengaruhi penetrasi cahaya matahari, kelarutan gas, dan kehidupan biota air. Oleh karena itu, pemahaman terhadap fluktuasi nilai parameter fisik ini sangat penting sebagai basis data dasar dalam menentukan jenis unit pengolahan fisik awal (*pre-treatment*) yang efektif sebelum air dialirkan ke tahapan pengolahan kimia selanjutnya (Metcalf & Eddy, 2003).

2.3.1 Kekeruhan

Kekeruhan (*turbidity*) merupakan salah satu parameter fisik paling utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air baku karena dapat dinilai secara visual dengan mudah oleh orang awam. Kondisi ini disebabkan oleh adanya materi suspensi koloid dan partikel halus seperti lumpur, tanah liat, zat organik, plankton, serta mikroorganisme lainnya yang menghalangi jalannya cahaya melewati badan air. Tingkat kekeruhan yang tinggi tidak hanya mengurangi estetika air, tetapi juga dapat melindungi mikroorganisme patogen dari proses desinfeksi serta menyumbat sistem filtrasi pada unit pengolahan downstream. Oleh karena itu, pengukuran nilai kekeruhan menggunakan satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) sangat

penting dilakukan sebagai dasar penentuan dosis koagulan yang tepat dalam proses koagulasi-flokulasi (Reynolds & Richards, 1996).

2.3.2 Zat Padat Terlarut atau TDS (*Total Dissolved Solid*)

Zat padat terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS) merupakan parameter fisik yang menunjukkan jumlah total material organik dan anorganik, seperti ion kalsium, magnesium, natrium, karbonat, bikonat, klorida, dan sulfat, yang terlarut di dalam air dan mampu lolos melalui media penyaring berukuran $2\ \mu\text{m}$. Keberadaan TDS dalam konsentrasi yang wajar umumnya berasal dari pelarutan mineral batuan dan tanah secara alami, namun peningkatan nilai TDS yang signifikan sering kali mengindikasikan adanya pencemaran dari limbah domestik, limpasan pertanian, atau limbah industri. Meskipun TDS pada kadar tertentu tidak membahayakan kesehatan secara langsung, nilai TDS yang melebihi batas baku mutu dapat memberikan rasa yang tidak enak pada air (seperti rasa payau atau asin), mempercepat laju korosi pada pipa distribusi, serta menurunkan efisiensi unit pengolahan air bersih (Howard & Jamie, 2003).

2.3.3 Total Padatan Tersuspensi atau TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi merupakan parameter fisik yang merujuk pada berat kering materi organik maupun anorganik berukuran lebih besar dari $2\ \mu\text{m}$ yang melayang secara dinamis di dalam kolom air. Berbeda dengan TDS, komponen TSS terdiri dari partikel-partikel kasar seperti lumpur, pasir halus, tanah liat, serta material biologis (plankton dan detritus) yang tidak dapat lolos ketika disaring menggunakan kertas saring *glass fiber filter* atau milipore (Reynolds & Richards, 1996). Tingginya konsentrasi TSS pada air baku secara langsung memicu peningkatan nilai kekeruhan, menghalangi penetrasi cahaya matahari yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis badan air alami, serta berisiko tinggi menyebabkan pendangkalan (*silting*) pada bak prasedimentasi akibat laju pengendapan partikel yang cepat.

2.3.4 Bau dan Rasa

Bau dan rasa merupakan parameter fisik estetika yang saling berkaitan erat dan umumnya diuji secara bersamaan melalui organ sensorik (organoleptik) manusia. Air minum yang ideal seharusnya tidak memiliki rasa (*tasteless*) dan tidak

berbau (*odorless*), sehingga adanya perubahan pada kedua parameter ini menjadi petunjuk awal yang kuat mengenai penurunan kualitas air atau adanya kontaminasi. Bau amis, busuk, atau menyengat pada air baku sering kali dipicu oleh aktivitas tumbuhan alga, dekomposisi zat organik oleh mikroorganisme, atau keberadaan gas terlarut seperti H_2S , sedangkan rasa asin, pahit, atau logam biasanya berasal dari tingginya kandungan garam mineral dan limbah industri (Effendi, 2003). Selain menurunkan tingkat penerimaan masyarakat secara visual, penyimpangan bau dan rasa juga dapat mengindikasikan adanya senyawa kimia beracun atau perkembangbiakan mikroba yang berpotensi mengganggu kesehatan manusia.

2.4 Parameter Kimiawi pH (*Potential of Hydrogen*)

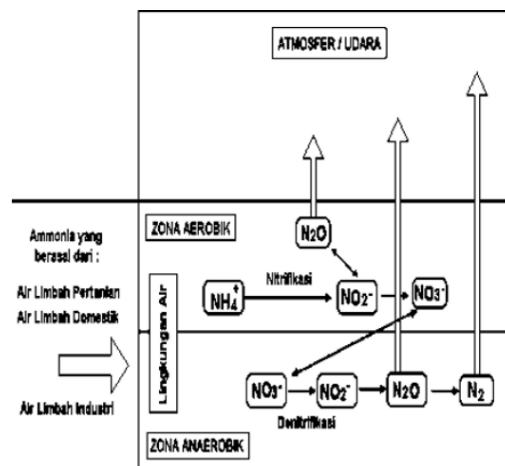
Derajat keasaman atau pH (*Potential of Hydrogen*) adalah suatu parameter umum yang biasa digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, yang dimaksudkan "keasaman" di sini adalah konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam pelarut air. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai $pH = 7$. Nilai $pH > 7$ menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai $pH < 7$ menunjukkan keasaman.

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. 32 tahun 2017 berkisar antara 6,5 - 8,5.

2.4.1 Unsur Nitrogen

Menurut Effendi (2003), Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri nitrosomonas, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat

dilakukan oleh bakteri nitrobacter. Kedua jenis bakteri tersebut merupakan bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi (Effendi, 2003). Pada limbah yang belum diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik yaitu mendapatkan energinya melalui proses oksidasi dari ion ammonium (Effendi, 2003).



Gambar 2.1 Siklus Nitrogen di Lingkungan Perairan

Adanya nitrat (NO_3^-) dalam air berkaitan erat dengan siklus nitrogen dalam alam. Dalam siklus tersebut dapat diketahui bahwa nitrat dapat terjadi baik dari N_2 atmosfer maupun dari pupuk-pupuk (*fertilizer*) yang digunakan dan dari oksidasi NO_2^- oleh bakteri dari kelompok nitrobacter. Nitrat yang terbentuk dari proses-proses tersebut merupakan pupuk dari tanaman-tanaman. Nitrat yang kelebihan dari yang dibutuhkan oleh kehidupan tanaman terbawa oleh air yang merembes melalui tanah, sebab tanah tidak mempunyai kemampuan untuk menahannya. Ini mengakibatkan terdapatnya konsentrasi nitrat yang relatif tinggi pada air tanah. Kadar Nitrat secara alamiah biasanya agak rendah, namun kadar nitrat dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Kadar nitrat tidak boleh melebihi 10mg/L (Nugroho et al., 2006).

Proses kombinasi aerob-anaerob biasanya digunakan untuk menyisihkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Untuk penyisihan nitrogen, pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi, yaitu amonia diubah menjadi ion amonium dan nitrat ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerob (*anoxic*) terjadi proses denitrifikasi, yaitu nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen (NO_3^-/N_2).

2.4.2 Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi, yaitu proses pembentukan nitrit atau nitrat dari amonia. Proses nitrifikasi, melibatkan bakteri pengoksidasi amonia yang bersifat autotrofik, yaitu kelompok bakteri yang terutama berperan dalam proses oksidasi amonia menjadi nitrit pada siklus nitrogen, juga pada proses penguraian nitrogen dalam sistem pengolahan limbah cair. Bakteri autotrof yang berperan dalam oksidasi amonia menjadi nitrit adalah *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus*, dan *Nitrosovibrio*. Beberapa mikroorganisme yang bersifat heterotrof juga dilaporkan mampu mengoksidasi dan melakukan nitrifikasi (Agustiyan et al., 2004). Selain bakteri autotrofik, bakteri heterotrofik juga mampu mengoksidasi amonia atau nitrogen organik menjadi nitrit atau nitrat (Sylvia et al., 1990).

2.4.3 Denitrifikasi

Denitrifikasi merupakan suatu proses yang secara umum digunakan untuk mengurangi senyawa nitrat dan mengonversi menjadi nitrit dan pada akhirnya menjadi gas nitrogen. Pada proses denitrifikasi pembentukan nitrit hanya sebagai senyawa antara (*intermediate*) sebelum menjadi gas nitrogen, sehingga jumlah konsentrasi nitrit selalu berubah karena tergantung kecepatan laju pengurangan dari nitrat menjadi nitrit dan dari nitrit menjadi gas nitrogen. Reaksi yang terjadi dalam proses denitrifikasi:



Nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-) adalah ion-ion anorganik alami, yang merupakan bagian dari siklus nitrogen. Secara alami dalam siklus nitrogen, nitrat akan diubah menjadi nitrit selanjutnya nitrit menjadi gas nitrogen, tetapi jika pada suatu lingkungan tertentu kadar nitrat dan nitrit terlalu banyak atau melebihi ambang batas normal maka akan mengganggu siklus nitrogen. Proses denitrifikasi

secara biologis merupakan suatu proses reduksi nitrat dan nitrit menjadi bentuk gas nitrogen sebagai hasil akhir yang dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen terlarut (DO) (Hasanuddin, 2011).

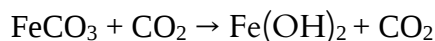
2.4.4 Besi (Fe)

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

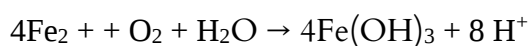
Di dalam proses penghilangan besi dengan cara Aerasi, adanya kandungan alkalinity, (HCO₃)⁻ yang cukup besar dalam air, akan menyebabkan senyawa besi berada dalam bentuk senyawa ferro bikarbonat, Fe(HCO₃)₂. Oleh karena bentuk CO₂ bebas lebih stabil daripada (HCO₃)⁻, maka senyawa bikarbonat cenderung berubah menjadi senyawa karbonat.



Dari reaksi tersebut dapat dilihat, jika CO₂ berkurang, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser ke kanan dan selanjutnya reaksi akan menjadi sebagai berikut:



Baik hidroksida besi (valensi 2) masih mempunyai kelarutan yang cukup besar, sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan udara atau aerasi akan terjadi reaksi (ion) sebagai berikut:



Sesuai dengan reaksi tersebut, maka untuk mengoksidasi setiap 1 mg/l zat besi dibutuhkan 0,14 mg/l oksigen. Pada pH rendah, kecepatan reaksi oksidasi besi dengan oksigen (udara) relatif lambat, sehingga pada praktiknya untuk mempercepat reaksi dilakukan dengan cara menaikkan pH air yang akan diolah. Untuk aerator dengan *surface* aerator dilakukan dengan cara menyemburkan udara bertekanan ke dalam air. Dengan cara demikian maka akan terjadi kontak yang efektif antara oksigen atau udara dengan zat besi yang ada di dalam air sehingga

terjadi reaksi oksidasi zat besi membentuk oksida yang tak larut dalam air (Said, 2018).

2.4.5 Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur berlimpah di kerak bumi (sekitar 0,1%) yang terjadi secara alamiah. Mangan merupakan logam keras dan sangat rapuh. Sulit untuk meleleh, tetapi mudah teroksidasi. Mangan bersifat reaktif ketika murni, sebagai bubuk akan terbakar dalam oksigen, bereaksi dengan air dan larut dalam asam encer (Kamsuri et al., 2013).

Di dalam sistem air alami dan juga di dalam sistem pengolahan air, senyawa mangan berubah-ubah tergantung derajat keasaman (pH) air. Senyawa mangan valensi dua tersebut dengan berbagai cara oksidasi diubah menjadi senyawa yang mempunyai valensi yang lebih tinggi yang tak larut di dalam air sehingga dapat dengan mudah dipisahkan secara fisik. Walaupun Mn di dalam senyawa senyawa MnCO_3 , Mn(OH)_2 mempunyai valensi dua, zat tersebut relatif sulit larut di dalam air, tetapi untuk senyawa Mn seperti garam MnCl_2 , MnSO_4 , $\text{Mn(NO}_3)_2$ mempunyai kelarutan yang besar di dalam air (Said, 2018).

2.4.6 Total Coliform

Total coliform adalah kelompok bakteri yang termasuk di dalamnya bakteri jenis aerobik dan fakultatif anaerobik, dimana merupakan bakteri gram negatif. Sebagian besar bakteri total coliform adalah heterotrophic dan dapat bertambah jumlahnya di air dan tanah. *Total coliform* juga dapat bertahan dan bertambah banyak jumlahnya di sistem distribusi air, terutama jika kondisinya memungkinkan. Keberadaan total coliform dapat berasal dari tinja manusia atau hewan dan dapat pula berada secara alamiah di dalam air. Total coliform hanyalah sebagai indikator yang digunakan untuk mengindikasikan bahwa bisa saja terdapat mikroba lain dalam air tersebut, misalnya mikroba patogen seperti *Giardia*, *Cryptosporidium*, *E. coli*, dan lain-lain (Yulianingsih et al., 2019).

2.4.7 BOD (Biological Oxygen Demand)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dan air. Dengan kata lain,

BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol besar daripada kadar bahan organik. Sebaliknya, perairan rawa memiliki kadar bahan organik yang lebih besar daripada kadar bahan anorganik terlarut (Effendi, 2003).

2.4.8 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan banyaknya oksigen dalam ppm yang diperlukan dalam kondisi khusus untuk menguraikan zat organik menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kuat (potassium dikromat) (Qasim, 1985). Secara kimia bahan organik diuraikan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi panas dan asam menggunakan katalisator 5 perak sulfat (Metcalf & Eddy, 1991). Hal ini mengakibatkan seluruh bahan organik, baik yang mudah terurai maupun yang kompleks dan sulit terurai akan teroksidasi menjadi gas H₂O dan gas CO₂ serta sejumlah ion krom. Dengan menggunakan oksidator kalium bikromat, diperkirakan bahan organik dapat dioksidasi sekitar 95%-100% (Effendi, 2003).

2.5 Parameter Biologis

Parameter biologis merupakan indikator penting dalam menentukan tingkat higienitas dan keamanan air baku sebelum melalui proses pengolahan. Pengujian parameter ini berfokus pada keberadaan mikroorganisme patogen, seperti bakteri *Total Coliform* dan *Escherichia coli* (*E. coli*), yang sering kali menjadi indikator utama adanya kontaminasi kotoran atau tinja manusia dan hewan di dalam sumber air. Keberadaan mikroorganisme ini dalam jumlah yang melebihi batas aman berpotensi besar menyebabkan penyebaran penyakit bawaan air (*waterborne diseases*), seperti diare, kolera, dan disentri. Oleh karena itu, analisis parameter biologis secara berkala sangat krusial untuk menentukan efektivitas unit desinfeksi yang diperlukan dalam sistem pengolahan air bersih agar produk akhir yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi masyarakat sesuai dengan standar baku mutu yang berlaku.

2.5.1 Total Coliform

Total coliform adalah kelompok bakteri yang termasuk di dalamnya bakteri jenis aerobik dan fakultatif anaerobik, dimana merupakan bakteri gram negatif

sebagian besar bakteri total coliform adalah heterotrophic dan dapat bertambah jumlahnya di air dan tanah. Total coliform juga dapat bertahan dan bertambah banyak jumlahnya di sistem distribusi air, terutama jika kondisinya memungkinkan. Keberadaan total coliform dapat berasal dari tinja manusia atau hewan dan dapat pula berada secara alamiah di dalam air. Total coliform hanyalah sebagai indikator yang digunakan untuk mengindikasikan bahwa bisa saja terdapat mikroba lain dalam air tersebut, misalnya mikroba patogen seperti *Giardia*, *Cryptosporidium*, *E.coli*, dan lain-lain (Yulianingsih et al., 2019).

2.5.2 Bakteri *E.-Coli*

Bakteri E-Coli merupakan golongan mikroorganisme yang lazim digunakan sebagai indikator, dimana bakteri ini dapat menjadi sinyal untuk menentukan suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak. Berdasarkan penelitian, bakteri Coliform ini menghasilkan zat etionin yang dapat menyebabkan kanker. Selain itu, bakteri pembusuk ini juga memproduksi bermacam-macam racun seperti indol dan skatol yang dapat menimbulkan penyakit bila jumlahnya berlebih di dalam tubuh (Pracoyo, 2006).

2.6 Standar Kualitas Air Bersih

Di Indonesia Standar Kualitas Air Bersih dapat dilihat pada PP No. 22 tahun 2021 dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Standar Kualitas Air Bersih dapat dilihat pada PP No. 22 tahun 2021 pada tabel di bawah ini

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Keterangan
1.	Temperature	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Perbedaan dengan suhu udara di atas air
2.	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1000	1000	1000	1000	Tidak berlaku untuk muara

3.	Padatan terlarut tersuspensi (TSS)	mg/L	4	50	100	400	
4.	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alamnya)
5.	Derajat keasaman (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9	Tidak berlaku untuk air gambut (berdasarkan kondisi alamnya)
6.	Kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD)	mg/L	2	3	6	12	
7.	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80	
8.	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal
9.	Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300	300	300	400	
10.	Klorida (Cl ⁻)	mg/L	300	300	300	600	
11.	Nitrat (sebagai N)	mg/L	10	10	20	20	
12.	Nitrit (sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	
13.	Amoniak (sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-	
14.	Total nitrogen	mg/L	15	15	25	-	
15.	Total fosfat (sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1	-	
16.	Fluorida (F)	mg/L	1	1,5	1,5	-	
17.	Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	
18.	Sianida (CN)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	

19.	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,3	-	Bagi air baku air minum tidak dipersyaratkan
20.	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1	-	-	-	
21.	Boron (B) terlarut	mg/L	1	1	1	1	
22.	Merekuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
23.	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,1	
24.	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
25.	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-	
26.	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
27.	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
28.	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-	
29.	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
30.	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	
31.	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	
32.	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	
33.	Kromium heksavale (Cr-VII)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
34.	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10	
35.	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	
36.	Fenol	mg/L	0,002	0,005	0,01	0,02	
37.	Aldrin/ Dieldrin	g/L	17	-	-	-	
38.	BHC	g/L	210	210	210	-	

39.	Chlordance	g/L	3	-	-	-	
40.	DDT	g/L	2	2	2	-	
41.	Endrin	g/L	1	4	4	-	
42.	Heptachlor	g/L	18	-	-		
43.	Lindane	g/L	56	-	-		
44.	Methoxy-chlor	g/L	35	-	-		
45.	Toxapan	g/L	5	-	-		
46.	Fecal coliform	MPN/ 100 mL	100	1000	2000	2000	
47.	Total coliform	MPN/ 100 mL	1000	5000	10000	1000 0	
48.	Sampah		Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	
49.	Radioaktivi- tas						

Sumber: (PP Nomor 22 Tahun 2021)

Standar kualitas dan parameter wajib kelayakan air minum yang berlaku di Indonesia secara legal formal mengacu pada regulasi terbaru pemerintah. Adapun rincian standar kualitas air minum tersebut dapat dilihat pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023 yang disajikan dalam Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Minum

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1.	Escherihia coli	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
2.	Total Coliform	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
	Fisik			

3.	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI / APHA
4.	Total Dissolved Solids	< 300	mg/L	SNI / APHA
5.	Kekeruhan	< 3	NTU	SNI atau yang setara
6.	Warna	10	TCU	SNI / APHA
7.	Bau	Tidak berbau	-	APHA
	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 khlor (terlarut)	0,2 – 0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI / APHA
15.	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
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 RI No. 2 Tahun 2023)

2.7 Bangunan Pengolahan Air Minum

Bangunan Pengolahan Air Minum (BPAM) atau Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) merupakan kesatuan struktur teknik yang mengintegrasikan berbagai unit operasi fisik dan unit proses kimiawi secara sistematis untuk mengubah karakteristik air baku menjadi air minum yang aman dan memenuhi standar kesehatan. Konfigurasi dan tahapan teknologi yang diterapkan di dalam instalasi ini sangat bergantung pada kualitas air permukaan yang digunakan, di mana air sungai yang fluktuatif umumnya membutuhkan pengolahan lengkap (*complete treatment*) yang meliputi tahap penyadapan, aerasi, sedimentasi, koagulasi-flokulasi, filtrasi, hingga desinfeksi. Perancangan dimensi dan hidrolika dari setiap bangunan pengolahan ini harus dikalkulasi secara presisi berdasarkan debit perencanaan, kriteria desain yang berlaku, serta karakteristik polutan target agar kontinuitas dan kualitas produk air bersih yang didistribusikan ke masyarakat tetap terjaga dengan optimal (Kawamura, 2000).

2.7.1 Intake

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

1. Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain).
2. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain lain).
3. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (uplift).

4. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya.
5. Dimensi bangunan pengambilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian.
6. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air.
7. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku.
8. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun.
9. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar. (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum 18/Prt/M/2007 Tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*)

Bangunan penyadap langsung (*direct intake*) merupakan salah satu jenis unit penyadap air baku (*intake structure*) yang diletakkan dan dibangun langsung pada badan air sumber, seperti sungai, danau, maupun waduk. Jenis *intake* ini digunakan apabila kondisi fluktuasi muka air sumber cenderung stabil dan memiliki kedalaman yang cukup tinggi untuk merendam pipa atau saluran pengambilan air. Secara fungsional, bangunan ini dirancang untuk menyadap air baku secara langsung tanpa memerlukan media perantara atau saluran pembawa tambahan terlebih dahulu. Air yang masuk melalui *direct intake* kemudian akan dialirkan menuju bak pengumpul (*sump well*) atau langsung menuju pompa untuk ditransmisikan ke unit pengolahan berikutnya.

Beberapa karakteristik utama dan kriteria dalam perencanaan *direct intake* antara lain:

- a. Penempatan Unit: Struktur bangunan umumnya menjorok ke arah badan air atau berada di tepi tebing air baku yang curam untuk mendapatkan kedalaman air yang optimal sepanjang tahun.

- b. Sistem Penyaringan: Wajib dilengkapi dengan saringan kasar (*coarse screen / bar screen*) pada bagian depan bukaan (*inlet*) untuk mencegah masuknya benda-benda terapung berukuran besar (seperti sampah plastik, ranting pohon, atau tanaman air) yang dapat menyumbat sistem perpipaan dan merusak pompa.
- c. Potensi Pengendapan: Karena posisinya yang berada langsung di dalam badan air, bangunan ini memungkinkan terjadinya akumulasi lumpur dan pengendapan material tersuspensi di bagian dasarnya. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan ruang lumpur (*sludge zone*) serta sistem pengurasan secara berkala untuk menjaga kapasitas tampung *intake*.
- d. Konstruksi: Struktur bangunan penyadap langsung harus dirancang kokoh menggunakan beton bertulang agar mampu menahan gaya hidrostatis air, beban gerusan arus (*scouring*), serta benturan dari benda-benda keras yang terbawa oleh arus air.

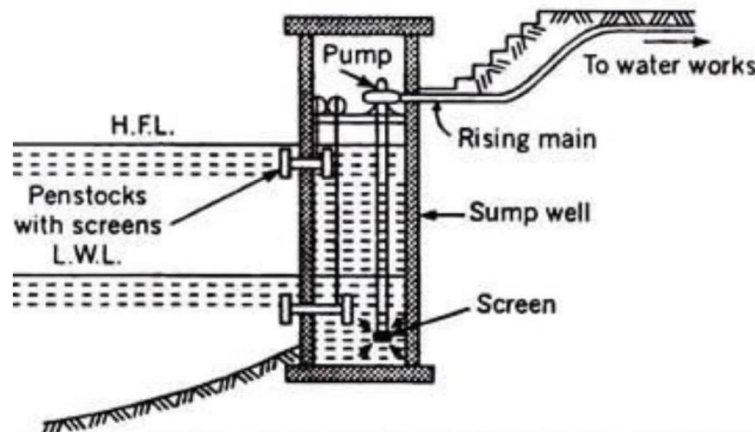
2. Bangunan Penyadap Tidak Langsung (*Indirect Intake*)

Indirect intake (bangunan penyadap tidak langsung) merupakan sistem pengambilan air baku yang tidak menyadap air langsung dari badan air permukaan, melainkan melalui media perantara atau struktur penampung tambahan terlebih dahulu. Sistem ini biasanya diterapkan pada sumber air yang memiliki fluktuasi kualitas yang tinggi, kandungan sedimen tersuspensi yang sangat pekat, atau kondisi aliran yang ekstrim. Air baku dialirkan secara gravitasi atau dipompa menuju sebuah bak prasedimentasi, saluran interseptor, atau sumur pengumpul (*intake well*) sebelum dialirkan ke unit pengolahan utama. Melalui metode ini, beban polutan fisik seperti lumpur dan pasir dapat direduksi terlebih dahulu secara alami, sehingga dapat menjaga kestabilan operasional serta melindungi pompa dan unit pengolahan downstream dari risiko kerusakan akibat abrasi (Kawamura, 2000).

a. *River Intake*

River intake merupakan bangunan pengambilan air baku yang dirancang dan dibangun langsung di sepanjang tepi atau badan sungai alami untuk menyadap air permukaan sebagai sumber air bersih. Konstruksi bangunan ini umumnya disesuaikan dengan fluktuasi debit dan tinggi muka air sungai, serta dilengkapi

dengan dinding penahan tanah untuk mengantisipasi erosi dan gerusan akibat arus sungai yang dinamis. Dalam perancangan *river intake*, penempatan posisi lubang pengambilan (*inlet*) sangat krusial; posisinya harus berada di bawah permukaan air terendah untuk menjamin kontinuitas suplai air, namun tetap cukup tinggi dari dasar sungai guna mencegah masuknya sedimen kasar, lumpur, dan batuan kecil ke dalam sistem pemompaan (Kawamura, 2000).

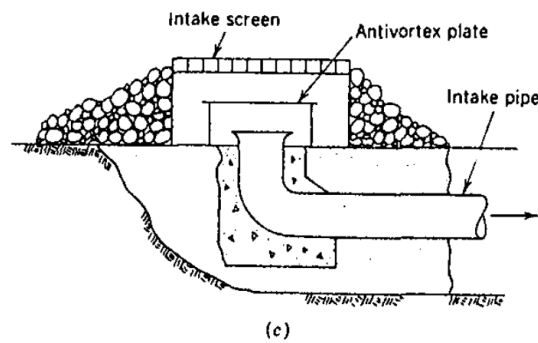


Gambar 2.2 River Intake

Sumber : (Kawamura, 2000)

b. Canal Intake

Canal intake merupakan jenis bangunan pengambilan air baku yang dirancang khusus untuk menyadap air dari saluran atau kanal buatan, seperti kanal irigasi maupun kanal pembangkit listrik. Bangunan ini umumnya ditempatkan pada sisi dinding kanal dengan posisi tegak lurus atau membentuk sudut tertentu terhadap arah aliran untuk meminimalkan masuknya sedimen dasar ke dalam sistem pompa. Karena debit dan tinggi muka air pada kanal buatan cenderung lebih stabil dan dapat dikontrol dibandingkan dengan sungai alami, perencanaan *canal intake* biasanya menjadi lebih terstruktur. Meskipun demikian, bangunan ini tetap harus dilengkapi dengan fasilitas penangkap sampah (*screen*) dan bak penenang (*sump well*) guna mengantisipasi fluktuasi aliran akibat aktivitas domestik atau pertanian di sepanjang aliran kanal, sehingga kontinuitas suplai air menuju unit pengolahan berikutnya tetap terjaga dengan aman.

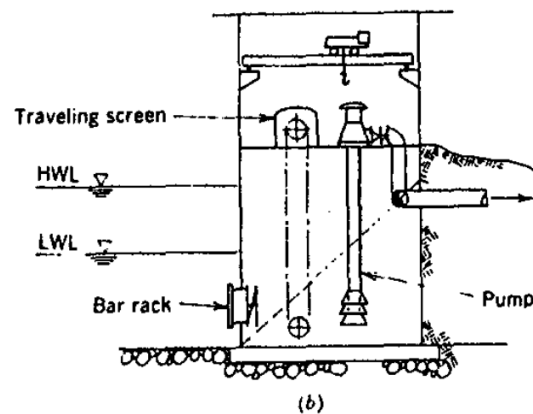


Gambar 2.3 Canal Intake

Sumber : (Kawamura, 2000)

c. Reservoir Intake

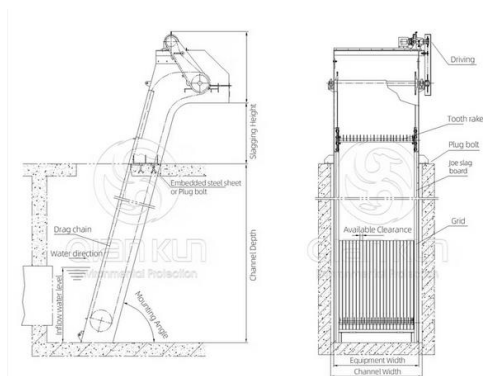
Reservoir intake pada Gambar 2.4 Digunakan untuk air yang berasal dari bendungan dan mudah menggunakan menara intake. Menara intake dengan bendungan dibuat terpisah dan diletakkan di bagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.



Gambar 2.4 Reservoir Intake

Sumber : (Kawamura, 2000)

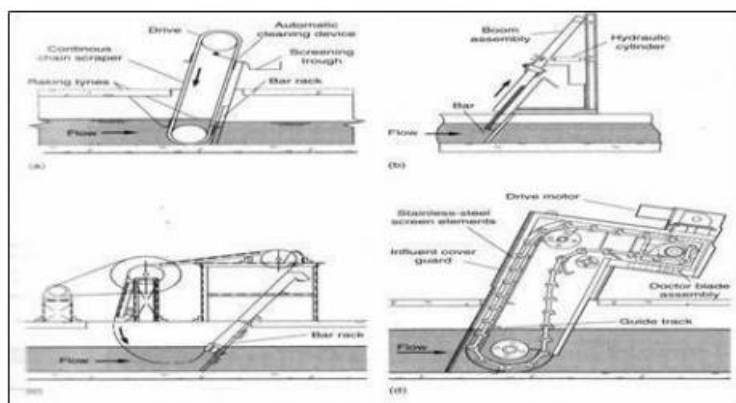
Selanjutnya pada bagian screen, kami menggunakan *fine screen*. Screen sendiri bertujuan untuk menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. Pemilihan coarse screen dirasa sangat tepat karena dapat menghilangkan benda-benda berukuran besar dan mempunyai ukuran celah 6–150 mm.



Gambar 2.5 Bar Screen Mekanik dan Manual

Sumber: (Metcalf & Eddy et al, 2007)

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 $30^\circ - 45^\circ$ dari horizontal (Metcalf & Eddy et al., 2007). Tebal batang biasanya 5-15mm dengan jarak antar batang 25 hingga 50mm yang diatur sedemikian rupa sehingga lolos untuk parameter/limbah yang diinginkan. Screening dirancang dan dihitung menggunakan debit pada aliran puncak (Qasim et al., 2000).



Gambar 2.6 Tipe Screen dengan Pembersihan Secara Mekanik

Sumber: (Metcalf & Eddy, 2003)

Pada 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 sehingga tidak mengganggu proses

pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	U.S Customary Units		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
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
Headloss	6 m	5 – 24 m	150 mm	150 – 600 mm
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 3,0	25 – 50	15 - 75
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
Kemiringan thd vertikal (derajat)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Ukuran batang				
Parameter lain				

Sumber : (Metcalf and Eddy WWET, and Reuse 4th edition, 2004

Halaman 315-316)

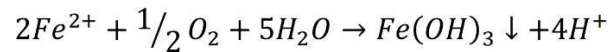
2.7.2 Aerasi

Aerasi merupakan proses kontak antara air dan udara baik dengan metode alami atau dengan perangkat mekanis. Dengan kata lain suatu metode untuk meningkatkan saturasi oksigen dari air. Aerasi adalah salah satu teknik yang paling mendasar sering digunakan dalam perbaikan karakteristik fisik dan kimia dari air (Widyaningrum, 2016).

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), metana (CH₄) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan dengan rasa dan bau.

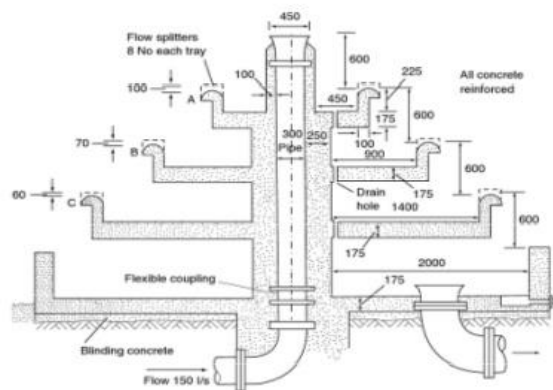
Terjadi kontak antara air dan oksigen dikarenakan adanya penambahan udara dalam air pada proses aerasi sehingga dapat membentuk endapan $(OH)_3$, hal tersebut juga berlaku pada logam lain. Selain itu aerasi juga meningkatkan produksi oksigen ditandai dengan penurunan parameter organik dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Berikut reaksi kimia yang terjadi pada besi saat aerasi berlangsung (Izzati Istihara, 2019):



Jenis-jenis metode aerasi, antara lain:

1. Cascade Aerator

Pada dasarnya *aerator* ini terdiri dari 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan $0,01 \text{ m}^3/\text{det}$ permeter. Cascade aerator adalah suatu alat untuk proses aerasi dengan menggunakan sistem gravitasi dan prinsip kerja cascade aerator yaitu dengan air yang melewati plat atau lempengan yang disusun secara bertingkat seperti anak tangga kemudian air yang turun melewati cascade tersebut akan berhubungan langsung dengan oksigen di udara.

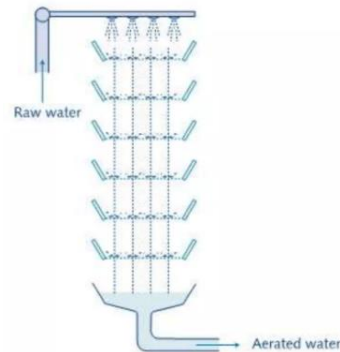


Gambar 2.7 Cascade Aerator

2. Waterfall Aerator (Aerator Air Terjun)

Pengolahan aerasi dengan metode *waterfall/Multiple aerator* seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis *aerator* terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lubang-lubang pada jarak 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

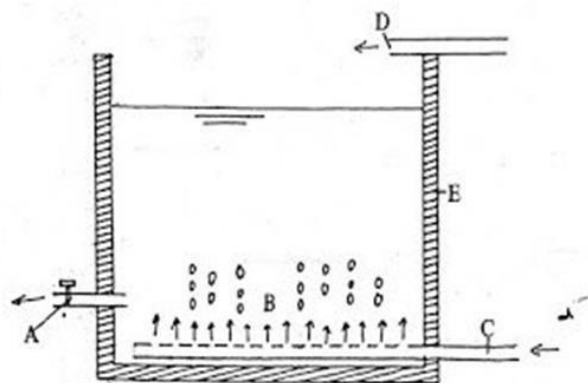
m/detik per m^2 permukaan *tray*. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap *tray* berikutnya. *Tray-tray* ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan-lempengan absetos cement berlubang-lubang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.



Gambar 2.8 *Waterfall Aerator*

3. *Bubble Aerator (Aerator Gelembung Udara)*

Jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi *Bubble* (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari $0,3 - 0,5 \text{ m}^3$ udara atau m^3 air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikkan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.



Gambar 2.9 *Bubble Aerator*

4. *Surface Aerator*

Surface aerator (aerator permukaan) merupakan unit aerasi mekanis yang bekerja dengan cara mengaduk air secara vertikal atau memercikkannya ke udara untuk menciptakan turbulensi besar di permukaan air. Proses pengadukan yang intensif ini secara efektif memperluas area kontak antara air baku dan atmosfer,

sehingga mempercepat laju transfer oksigen serta membantu melepaskan gas-gas terlarut yang tidak diinginkan seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). Di dalam sistem pengolahan air minum, jenis aerator ini sangat diandalkan karena efisiensi aerasi yang tinggi, kemudahan dalam pemeliharaan, serta kemampuannya untuk mencegah terjadinya pengendapan partikel padat di dalam bak aerasi selama proses berlangsung (Reynolds & Richards, 1996).



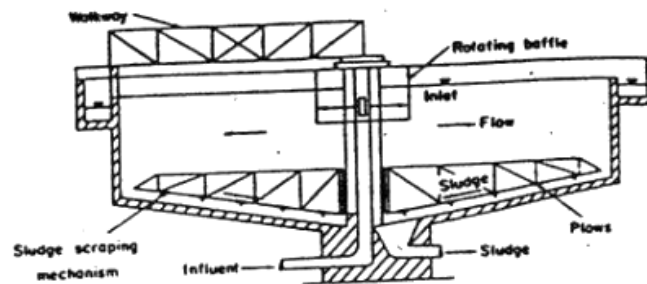
Gambar 2.10 *Surface Aerator*

2.7.3 Prasedimentasi

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

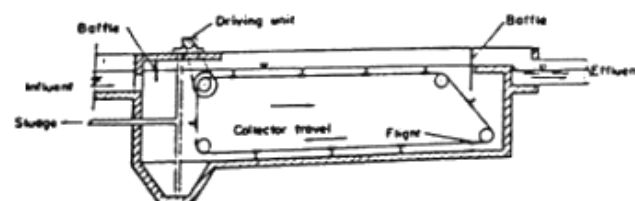
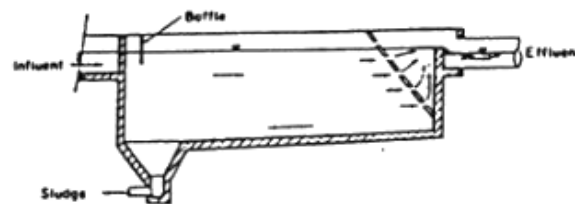
1. Zona Inlet: tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran steady *uniform* di zona settling.
2. Zona Pengendapan: tempat berlangsungnya proses pengendapan atau pemisahan partikel-partikel diskrit di dalam air buangan.
3. Zona Lumpur: tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.

4. Zona *Outlet*: tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran efluen serta mengatur debit efluen (Qasim et al., 2000).



Gambar 2.11 Bangunan Sedimentasi Circular

Sumber: (Metcalf & Eddy et al, 2007)



Gambar 2.12 Bangunan Sedimentasi *Rectangular*

Sumber: (Metcalf & Eddy et al, 2007)

Menurut Metcalf & Eddy (2007) kriteria yang perlu diperhatikan, antara lain: detention time, *overflow rate*, *average flow*, *peak hourly flow*, dan *weir loading*. Kriteria desain unit prasedimentasi dapat dilihat

Tabel 2.4 Desain Tipikal Prasedimentasi

<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
<i>Detention time</i>	h	1,5 - 2,5	2	h	1,5-2,5	2
<i>Overflow rate</i>						

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

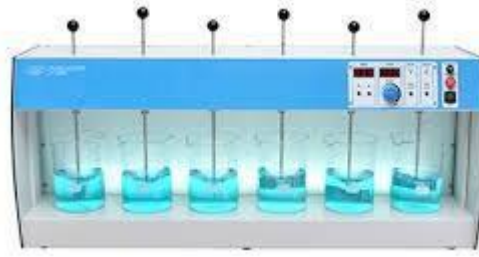
Sumber: (Metcalf & Eddy et al., 2007, Hal 398)

2.7.4 Koagulasi

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus dengan suatu koagulan, sehingga terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Koagulan atau flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk men- destabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012).

Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (disebut koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan melalui proses penguraian koagulan. Proses ini dilanjutkan dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al³⁺) dengan ion negatif dari partikel (misal OH⁻) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca²⁺) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO₄²⁻) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012). Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan

berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012).

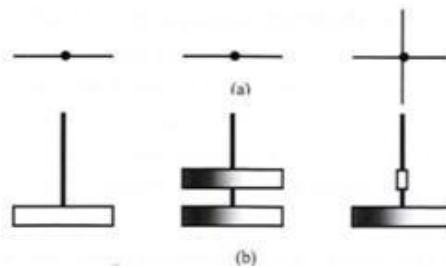


Gambar 2.13 Peralatan *Jar Test*

Adapun jenis-jenis koagulan dan pengadukan cepat unit koagulasi yaitu sebagai berikut :

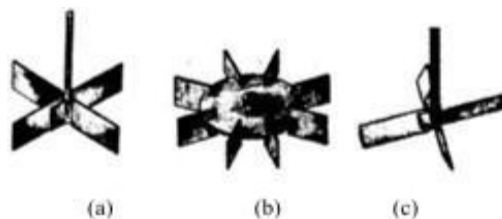
1. Pengadukan mekanis

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Pengadukan mekanis biasanya menggunakan peralatan berupa motor bertenaga Listrik, poros pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk *impeller*. Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (baling-baling). Bentuk ketiga *impeller* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.14 Tipe *Paddle* (a) tampak atas, (b) tampak samping

Sumber: (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012)



Gambar 2.15 Tipe *turbine* (a) *turbine blade* lurus, (b) *turbine blade* dengan piringan, (c) *turbine* dengan *blade* menyerong

Sumber: (S. R, Qasim et.al, 2000)



Gambar 2.16 Tipe *propeller* (a) *propeller 2 blade*, (b) *propeller 3 blade*

Sumber: (S. R, Qasim et.al, 2000)

Tabel 2.5 Kriteria *Impeller*

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

Tabel 2.6 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan Mekanis

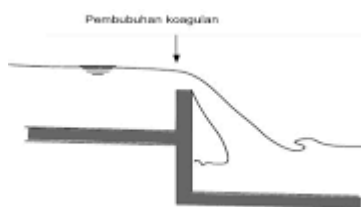
Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (detik)
20	1000
30	900
40	790
>50	700

Sumber : (Reynolds et al., 1996)

2. Pengadukan hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik

yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolis. Energi hidrolis dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolis dalam suatu aliran (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012). Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar titik Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi tutup atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah tersusunan, loncatan hidrolis dan *pashall flume* (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012).

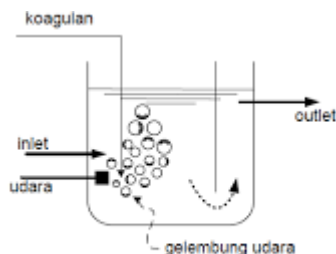


Gambar 5.9 Pengadukan cepat dengan terjunan

Gambar 2.17 Pengadukan Cepat Dengan Terjunan

3. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air (Gambar 2.18). Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. 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.



Gambar 5. 7 Pengadukan cepat secara pneumatis

Gambar 2.18 Pengadukan Cepat Secara Pneumatic

Sumber: (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012)

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan- pembantu. Beberapa jenis koagulan beserta sifatnya dapat dilihat pada Tabel 2.7

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Alumunium Sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ $x = 14,16,18$	Cairan, bubuk	Asam	6-7
Sodium aluminate	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	ristal halus	Basa	6 – 7,8
Polyalumunium Chloride, PAC	$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$	Bongkah, cairan	Asam	6 – 7,8
Ferric Sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri Klorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	>8,5

Tabel 2.7 Jenis Koagulan Dalam Pengolahan Air
(Sumber : Sugiarto, 2006)

2.7.5 Flokulasi

Flokulasi merupakan proses pengadukan lambat (*slow mixing*) yang bertujuan untuk mempercepat laju tumbukan antar partikel koloid yang telah terdestabilisasi pada proses koagulasi agar membentuk massa yang lebih besar dan berat yang disebut flok. Dalam unit ini, energi pengadukan yang dinyatakan dalam gradien kecepatan (G) diatur secara bertahap menurun (biasanya berkisar antara 10 hingga 75 s^{-1}) untuk memfasilitasi penggabungan partikel tanpa merusak atau memecah

kembali flok yang sudah terbentuk akibat gaya geser aliran. Sesuai dengan kriteria desain untuk air sungai, proses ini memerlukan waktu detensi minimal selama 20 menit agar flok dapat tumbuh secara optimal menjadi ukuran yang cukup besar untuk diendapkan secara efektif pada unit sedimentasi berikutnya (Kawamura, 2000).

2.7.6 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan unit operasi pemisahan fase padat-cair yang memanfaatkan gaya gravitasi secara alami untuk mengendapkan partikel-partikel tersuspensi yang terdapat di dalam air baku. Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), unit sedimentasi utama ini umumnya ditempatkan setelah proses koagulasi-flokulasi dengan fungsi utama menangkap flok-flok matang berukuran besar yang terbentuk dari ikatan polutan dan zat koagulan. Agar proses pengendapan berlangsung optimal, aliran air di dalam bak dirancang dalam kondisi laminar dengan kecepatan horizontal yang sangat rendah, sehingga partikel memiliki waktu tinggal (*detention time*) yang cukup untuk turun ke zona lumpur sebelum mencapai saluran pelimpah (*effluent launder*). Keberhasilan penyisihan sebagian besar beban padatan pada unit sedimentasi ini sangat krusial untuk mencegah terjadinya beban berlebih (*overloading*) serta penyumbatan dini pada media filter di unit filtrasi downstream (Reynolds & Richards, 1996).

2.7.7 Filtrasi

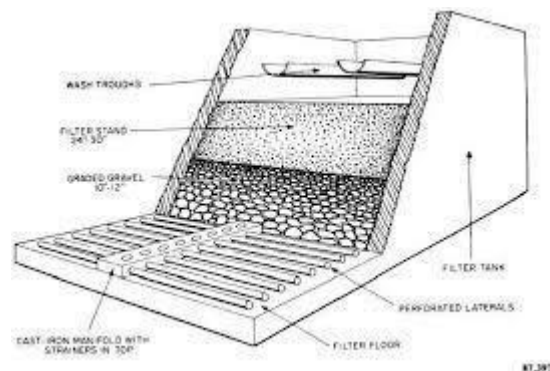
Menurut (Al-Layla, 1978), partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan proses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

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

di dalam proses filtrasi itu sendiri. Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah:

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

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang ukuran nya terlalu besar akan tetap tertahan di atas lapisan pasir. Namun jika ukuran partikel terlalu kecil (contohnya: partikel koloid dan bakteri) akan lebih sulit untuk dihilangkan karena akan lebih mudah lolos pada lapisan pasir ini. Pada lapisan kerikil, jarak di antara lapisan kerikil berfungsi sebagai area sedimentasi partikel tersuspensi. Namun dapat juga digunakan oleh partikel-partikel flok yang belum seratus persen terendapkan pada bak sedimentasi untuk mengendap pada lapisan kerikil ini. Pada gambar 2.19 dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2.19 Bagian-bagian Filter

Sumber: (Reynolds et.al, 1996).

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain *rapid sand filter*, *slow sand filter*, *pressure sand filter*,

multiple media filters, diatomaceous earth filters, upflow filters dan lain sebagainya.

Menurut Al-Layla (1978) pada proses purifikasi air, *rapid sand filters* memiliki hasil effluent yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara $4 - 5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr}$). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45 - 0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*. Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari *headloss filter* saat itu.

Keuntungan menggunakan *rapid sand filters* adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Sedangkan kekurangan dari *rapid sand filters* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak.

Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, 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). Kriteria untuk keperluan *rapid sand filter* adalah:

- Singel media pasir
 - A. UC = 1,3 – 1,7
 - B. ES = 0,45 – 0,7 mm
- Dual media:
 - A. UC = 1,4 – 1,9
 - B. ES = 0,5 – 0,7 mm

1. Filter pasir cepat

Filter pasir cepat atau *rapid sand filter* adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 6-11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika kekeruhan pada influen filter pasir cepat berkisar 5- 10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012). Kriteria desain pasir cepat dapat dilihat pada tabel 2.11

Tabel 2.8 Kriteria Perencanaan Filter Cepat

No.	Parameter / Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan Pencucian Antar Saringan
1.	Kecepatan Penyaringan (m/jam)	6 - 11	6 - 11
2.	Sistem Pencucian	Tanpa/dengan blower & atau surface wash	Tanpa/dengan blower & atau surface wash
	Kecepatan Pencucian (m/jam)	36 - 50	36 - 50
	Lama Pencucian (menit)	10 - 15	10 - 15
	Periode antar dua pencucian (jam)	18 - 24	18 - 24
	Ekspansi (%)	30 - 50	30 - 50
3.	Dasar Filter (Lapisan Penyangga)		
	Kedalaman 80 – 100 mm	Ukuran butir: 2 - 5 mm	Ukuran butir: 2 - 5 mm

	Kedalaman 80 – 100 mm	Ukuran butir: 5 - 10 mm	Ukuran butir: 5 - 10 mm
	Kedalaman 80 – 100 mm	Ukuran butir: 10 - 15 mm	Ukuran butir: 10 - 15 mm
	Kedalaman 80 – 150 mm	Ukuran butir: 15 - 30 mm	Ukuran butir: 15 - 30 mm
4.	Filter Nozzle		
	Lebar slot nozzle (mm)	< 0,5	< 0,5
	Persentase luas slot terhadap luas filter	> 4%	> 4%

Sumber: (SNI 6774:2008)

2. Filter pasir lambat

Filter pasir lambat atau slow sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi lambat yaitu sekitar 0,1 hingga 0,4 m/jam. Filter pasir lambat bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di beberapa milimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut lapisan hypogeal atau schmutzdecke. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifera, dan larva serangga air. Schmutzdecke adalah lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air. Selama air melewati schmutzdecke, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa (Masduqi & A.F. Assomadi, 2012). Kriteria perencanaan filter pasir lambat dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kriteria Perencanaan Pasir Lambat

Kriteria	Nilai/Keterangan
Kecepatan Filtrasi	0,1-0,4 m/jam
Ukuran bed	Besar, 2000 m ²
Kedalam bed	30 cm kerikil, 90-110 cm pasir, berkurang 50-80 cm saat pencucian
Ukuran Pasir	Ukuran efektivitas 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
Biaya konstruksi	Relative rendah
Biaya operasi	Relative rendah
Biaya Depresiasi	Relative rendah
Pengolahan Pendahuluan	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU

Sumber: (Schulz & D.A. Okun, 1984)

3. Filter bertekanan

Filter bertekanan (*pressure filter*) pada dasarnya mempunyai prinsip yang sama dengan filter gravitasi (filter cepat dan filter lambat), yaitu air akan melewati media berbutir dan terjadi penyaringan secara fisik. Pada filter cepat dan filter lambat, aliran air melewati media berbutir hanya didorong oleh tekanan atmosfer atau sistem aliran terbuka. Pada filter bertekanan, diperlukan pendorong tekanan yang lebih besar. Oleh karena itu tangki dirancang dengan sistem tertutup dan menggunakan pompa untuk menambah tekanan dalam tangki. Filter bertekanan terdiri atas tangki tertutup, media filter, media penyangga, dan sistem *underdrain*. Kriteria filter bertekanan terdapat pada tabel 2.13

Tabel 2.10 Kriteria Perencanaan Filter Bertekanan

No.	Parameter / Unit	Nilai / Keterangan
1.	Kecepatan Penyaringan (m/jam)	6 - 11
2.	Pencucian (Backwash)	
	Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower & atau surface wash
	Kecepatan pencucian (m/jam)	72 - 198

	Ekspansi (%)	30 - 50
3.	Media Pasir	
	Tebal (mm)	600 - 700
	Ukuran Efektif / ES (mm)	0,3 - 0,7
	Koefisien Keseragaman / UC	1,2 - 1,4
	Berat Jenis (kg/L)	2,5 - 2,65
	Porositas	0,4
	Kadar SiO ₂	> 95%
4.	Media Antrasit	
	Tebal (mm)	300 - 600
	Ukuran Efektif / ES (mm)	1,2 - 1,8
	Koefisien Keseragaman / UC	1,5
	Berat Jenis (kg/L)	1,35
	Porositas	0,5
5.	Dasar Filter	
	Lebar slot nozzle (mm)	< 0,5
	Persentase luas slot terhadap luas filter	> 4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

4. Backwash

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

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

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

2.7.8 Desinfeksi

Desinfeksi merupakan upaya untuk menghilangkan mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit bagi manusia. Desinfeksi merupakan upaya pencegahan yang dapat dilakukan oleh manusia dalam menanggulangi potensi paparan mikroorganisme patogen penyebab penyakit. Beberapa potensi tersebut adalah virus, bakteri, fungi, dan protozoa parasit yang membahayakan manusia (Said N.I, 2007).

Salah satu bentuk desinfeksi dalam pengolahan air minum adalah proses klorinasi. Klorinasi merupakan proses terakhir dalam pengolahan air minum untuk pengaman terhadap mikroorganisme patogen. Pemusnahan patogen dan parasit dalam air yang dilakukan dengan cara desinfeksi sangat membantu dalam menurunkan potensi terjadinya wabah penyakit akibat konsumsi air dan makanan. Namun demikian pada tahun-tahun belakangan ini ditemukan bahwa di dalam proses klorinasi terjadi hasil samping berupa senyawa halogen organik (sisa klor) yang dapat meracuni manusia maupun binatang, sehingga mendorong untuk menemukan desinfektan yang lebih aman. Ditemukan pula bahwa beberapa patogen atau parasit telah resisten terhadap desinfektan. Sebagai fungsi tambahan selain kegunaannya untuk memusnahkan patogen, beberapa desinfektan seperti ozone, *chlorine dioxide*, berfungsi juga untuk oksidasi zat organik, besi dan mangan serta untuk mengontrol masalah rasa dan warna dan pertumbuhan alge (Prinajati, 2021).

Dalam perencanaan ini digunakan bahan kimia klor sebagai desinfektan. Bak ini sebagai tempat kontak antara chlor dengan air hasil pengolahan sehingga persyaratan bakteriologis dapat terpenuhi. Senyawa klor yang sering digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OCl}_2)_2$ yang ada dipasaran dikenal dengan kaporit. Senyawa ini mengandung kurang lebih 60% chlor. Untuk dapat merencanakan bak chlorinasi maka terlebih dahulu harus ditentukan dosis klor yang dibutuhkan. Bak ini sebagai

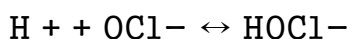
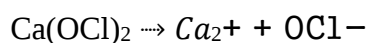
tempat pembubuhan desinfektan sehingga terjadi kontak antara air yang telah diolah dengan desinfektan. Chlorin $\text{Ca}(\text{OCl}_2)_2$ merupakan salah satu desinfektan kimia yang umum digunakan dalam pengolahan air bersih maupun air buangan. Karakteristik dari desinfeksi yang baik adalah sebagai berikut :

1. Efektif membunuh mikroorganisme patogen
2. Tidak beracun bagi manusia/hewan domestik
3. Tidak beracun bagi ikan dan spesies akuatik lainnya
4. Mudah dan aman disimpan, dipindahkan, dibuang
5. Rendah biaya
6. Analisis yang mudah dan terpercaya dalam air
7. Menyediakan perlindungan sisa dalam air minum

Ada pula berbagai hal yang mempengaruhi dari keberhasilan dan efektivitas kerja dari unit desinfeksi ini yang dimana

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). Yang dimana rumus kimia bekerja adalah kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) dan gas chlor (Cl_2). Pada proses desinfeksi menggunakan kaporit, terjadi reaksi persamaan sebagai berikut:



Sebagai suatu proses kimia yang menyangkut reaksi antara biomassa mikroorganisme perlu dipenuhi 2 syarat:

- Dosis yang cukup

- Waktu kontak yang cukup, minimum 30 menit

Selain itu diperlukan proses pencampuran yang sempurna agar desinfeksi benar-benar tercampur. Desinfeksi menggunakan ozon lazim digunakan untuk desinfeksi hasil pengolahan *waste water treatment*.

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 (Cl_2) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit (Sawyer et al., 2003).

2.7.9 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.

Dalam perancangan kali ini menggunakan Reservoir Menara dimana seluruh bagian penampungan dari Reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari

permukaan tanah sekitarnya. Sedangkan 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.



Gambar 2.20 Reservoir Menara

Sumber : (<https://acesse.one/1Krc3>)



Gambar 2.21 Reservoir Permukaan

Sumber : (<https://fanakabiodigesters.co.ke>)

Reservoir memiliki berbagai macam bentuk dan model yang bisa dipakai dalam proses perancangan yang dimana apabila dikerucutkan pada bahan konstruksinya dibagi menjadi 3 yaitu : Reservoir Tanki Baja banyak Reservoir menara dan “standpipe” atau Reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.



Gambar 2.22 Reservoir Tangki Baja

Sumber : (<https://bsbkonstruksi.co.id>)

1. Reservoir Beton Cor

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



Gambar 2.23 Reservoir Beton Cor

Sumber : (<https://readymix.co.id>)

2. Reservoir Fiberglass

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



Gambar 2.24 *Reservoir Fiberglass*

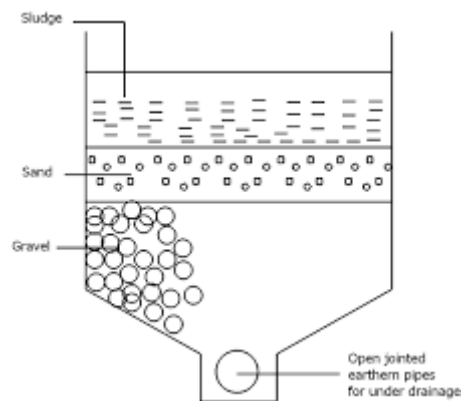
Sumber : (<https://www.biofreshfrp.id>)

2.7.10 Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/sludge dengan ukuran padatan yang relatif kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur/sludge diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200-300 mm. Selanjutnya lumpur tersebut dibiarkan mengering. Pengurangan kadar air dalam sludge drying bed terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari sludge dryingbed diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. Oleh karena itu, kecermatan dalam penentuan dimensi pipa drainase sangat dibutuhkan. Sludge drying bed pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy, 2003) Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5 – 6 m.

Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230 – 300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimasi masuknya lumpur/sludge ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki *effective size* antara 0,3 – 0,75. Area pengeringan memiliki

dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6 – 30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380 – 460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.25 *Sludge Drying Bed*

Perancangan pipa inlet untuk unit *sludge drying bed* memerlukan kecepatan aliran minimum sebesar 0,75 m/s guna mendukung kelancaran proses pengurasan di saluran drainase, dengan material berbahan PVC atau besi sebagai pilihan utama. Dalam mekanismenya, lumpur dialirkan secara tegak lurus menuju bak pengering dengan tujuan mereduksi laju alirannya (Metcalf & Eddy, 2003).

Evakuasi padatan hanya dapat dilakukan apabila lumpur telah mencapai kondisi kering sempurna, yang ditandai dengan tekstur permukaan yang retak, rapuh, serta perubahan warna menjadi cokelat tua atau hitam. Proses dewatering ini umumnya memakan waktu 10 hingga 15 hari hingga kadar air menyusut hingga kisaran 60%. Tahap pembersihan dinyatakan rampung setelah lumpur dikeruk, baik secara manual maupun menggunakan *scraper*, untuk kemudian dimobilisasi keluar area instalasi menggunakan truk (Metcalf & Eddy, 2003).

2.8 Aksesoris Perancangan Bangunan

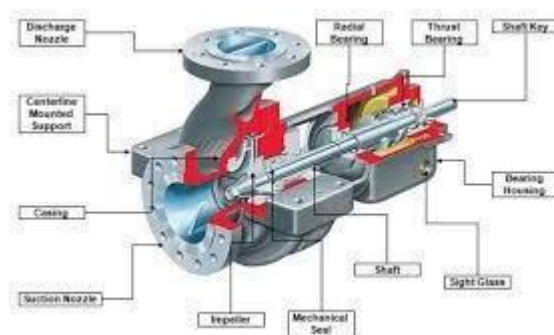
2.8.1 Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan digunakan untuk mengatasi hambatan pengaliran yang berupa perbedaan tekanan, ketinggian, atau hambatan gesek. Pada prinsipnya

pompa dapat mengubah energi mekanik menjadi energi aliran fluida, energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui. Pompa memiliki dua kegunaan, yaitu untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ketempat lainnya dan untuk mensirkulasikan cairan sekitar system. Pompa sendiri memiliki bermacam-macam jenis, yaitu:

1. *Centrifugal pump*

Centrifugal Pump merupakan pompa dengan susunan atas sebuah impeller dan saluran inlet di tengah-tengahnya. Ketika impeller berputar, fluida akan mengalir menuju casing di sekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Penggunaan pompa sentrifugal di dunia mencapai angka 80% karena penggunaannya yang cocok untuk mengatasi jumlah fluida yang besar daripada pompa positive-displacement.



Gambar 2.26 *Centrifugal Pump*

2. *Rotary Pump*

Rotary Pump adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Keuntungan dari pompa ini adalah efisiensi yang tinggi karena secara natural dapat mengeluarkan udara dari pipa alirannya, serta dapat mengurangi kebutuhan pengguna untuk mengeluarkan udara tersebut secara manual. Dan untuk kelemahan dari pompa ini adalah apabila pompa bekerja pada kecepatan yang terlalu tinggi, maka fluida kerjanya justru dapat menyebabkan erosi pada sudut-sudut pompa.



Gambar 2.27 Rotary Pump

Sumber: (*Rotary displacement pumps | The Best Chemical Handling Pumps-*
IWAKI

3. Gear Pump

Gear Pump merupakan jenis pompa roda gigi positif yang dapat memindahkan cairan dengan berulang kali menutup volume tetap menggunakan roda gigi yang saling mengunci, dan mentransfernya secara mekanis menggunakan pemompaan siklik yang memberikan aliran pulsa halus mulus sebanding dengan kecepatan rotasi gir-nya.



Gambar 2.28 Gear Pump

4. Screw Pump

Screw Pump merupakan pompa yang digunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitive terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Prinsip kerja *Screw* ditemukan oleh seorang *engineer* prancis bernama Rene Moineau, sehingga sering disebut juga dengan Moineau pump.



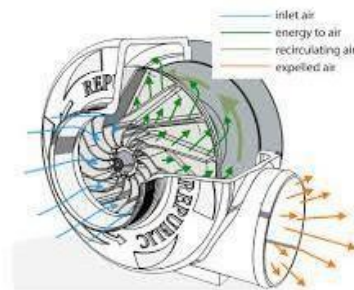
Gambar 2.29 *Screw Pump*

2.8.2 *Blower*

Blower merupakan mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan dan sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Blower juga merupakan mesin yang memampatkan udara atau gas oleh gaya sentrifugal ketekanan akhir melebihi dari 40 psig. Menurut klasifikasinya blower dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. *Blower Centrifugal*

Blower Sentrifugal merupakan *blower* dengan memiliki impeller yang dapat berputar hingga 15.000 rpm. Blower sentrifugal dapat beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm²



Gambar 2.30 *Blower Centrifugal*

Sumber: Mesin dan Proses: Prinsip Kerja Blower Sentrifugal

(Sumber : sarmansilverius.com)

2. *Blower Positive Displacement*

Blower Positive Displacement merupakan blower yang memiliki rotor yang menjebak udara dan mendorongnya melalui rumah *blower*. *Blower* ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan jika tekanan

sistem nya bervariasi. Blower ini berputar lebih pelan daripada *blower* sentrifugal hanya 3.600 rpm. Dan sering digerakkan oleh *belt* untuk memfasilitasi perubahan kecepatan.



Gambar 2.31 *Blower Positive Displacement*

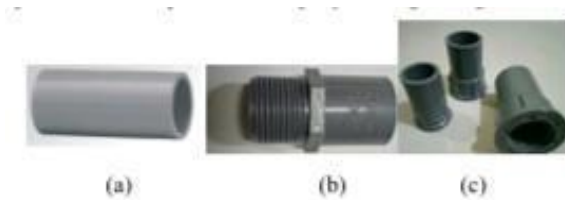
2.8.3 Pipa

Dalam membangun sebuah sistem jaringan saluran air yang ideal maka dibutuhkan dukungan aksesoris pipa yang tepat. Fungsi dari aksesoris pipa adalah untuk membangun jalur belokan, membangun jalur percabangan, mendukung metode penyambungan, dan menyambung antar pipa. Adapun aksesoris yang dimiliki pipa terdiri dari:

1. *Shock pipa/Socket*

Shock pipa/Socket merupakan aksesoris untuk menyambung pipa yang bertujuan untuk memperpanjang pipa dengan menyambung lurus satu pipa dengan pipa lainnya. Aksesoris ini biasa digunakan untuk menyambung pipa dengan diameter yang sama, dengan ulir yang berada di dalam. *Shock* pipa terbagi menjadi beberapa jenis seperti:

- *Shock* pipa PVC polos, yang digunakan untuk menyambung dua pipa PVC dengan ujungnya tidak ada ulir atau drat.
- *Shock* pipa drat luar, pada kedua ujung *shock* nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan *shock* pipa drat dalam.
- *Shock* pipa drat dalam, pada kedua ujung *shock* nya memiliki ulir/drat. *Shock* pipa jenis ini biasanya dikombinasikan dengan *shock* pipa drat luar ataupun konektor penyambung selang.



Gambar 2.32 (a) *shock* pipa polos (b) Shock pipa drat luar (c) *shock* pipa drat

2. Elbow

Elbow merupakan aksesoris perpipaan yang memiliki bentuk mirip dengan huruf “L” atau berbentuk siku (*Elbow*). Aksesoris ini berfungsi untuk membelokkan aliran. Aksesoris ini memiliki kombinasi sudut bervariasi yang paling sering dipakai adalah 90° dan 45° .



Gambar 2.33 *Elbow* 90° dan 45°

3. Tee

Tee merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk membagi aliran lurus menjadi dua arah, ke kanan dan kiri. Seperti namanya aksesoris tee berbentuk seperti huruf “T”, namun ada beberapa kasus Tee berbentuk seperti huruf “Y”, banyak orang menyebutnya Y-Branch.



Gambar 2.34 (a) *Tee* bentuk T (b) Y branch

4. Reducer

Reducer merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menyambung dua pipa dengan diameter berbeda. *Reducer* ini terbagi menjadi dua tipe, yakni reducer *elbow* untuk membelokkan aliran dan reducer *socket* untuk memperpanjang pipa dengan sambungan lurus.



Gambar 2.35 Reducer

Sumber: <https://images.app.goo.gl/2XhCz3MJ69SrYSSB8>

5. Dop/Plug/Cap/Clean Out

Dop/plug/cap/clean out merupakan aksesoris pipa yang berfungsi untuk menutup saluran pipa pada ujung pipa yang tidak dihubungkan lagi. Cap adalah penutup yang lebih simpel dari yang lain, Plug adalah penutup yang sangat rapat dengan sistem ulir/drat, clean out adalah penutup yang dapat ditutup dan dibuka sesuka hati. Namun kebanyakan kontraktor memilih untuk menutup ujung pipa dengan kran, agar sewaktu waktu ujung pipa dapat digunakan dan bermanfaat.



Gambar 2.36 Dop/plug/cap/clean out

Sumber: PVC Pipe Plug, Size: 3/4 inch at Rs 10/piece in Vadodara

ID:16895420588 (indiamart.com)

1. Flange

Flange adalah sebuah komponen yang digunakan untuk menyambungkan dua elemen antara pipa dengan *valve*, atau pipa dengan *equipment* lainnya menjadi satu kesatuan yang utuh dengan menggunakan baut sebagai perekatnya. Tujuan penggunaan flange adalah agar pipa dan *valve* bisa disambungkan dan kelak bisa

dilepas untuk memudahkan dalam perbaikan dan penggantian equipment tanpa merusak komponen dan peralatan terkait.



Gambar 2.37 Flange Pipa

2.9 Persen Removal

Tujuan dari proses pengolahan air minum adalah menurunkan beban pencemar pada sumber air sungai tersebut. Banyaknya penurunan beban pencemar dinyatakan dalam bentuk persentase yang digunakan untuk menilai seberapa efektifnya suatu bangunan dalam menurunkan beban pencemar. Berikut merupakan persentase penurunan beban pencemar berdasarkan beberapa literatur yang ada pada tabel berikut.

Tabel 2.11 Persentase penurunan beban pencemar berdasarkan literatur

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	% Removal	Sumber
Intake	-	-	-
Aerasi	Fe	75%	droste hal 224 0-20%
	Nitrat	15%	Khaer, A., & Budirman, B. (2019).
Prasedimentasi	Kekeruhan	65%	Reynolds/richards hal 130
Koagulasi Flokulasi	-		
Sedimentasi	Fe	90%	droste hal 224 0-20%
	Kekeruhan	80%	ali mazuki 2016

Filtrasi	Nitrat	30%	Water Treatment: Principles and Design
	Kekeruhan	90%	Reynolds/Richards 2 nd
Desinfeksi	Fecal coliform	90%	Droste, 1997
	Total coliform	90%	Droste, 1997

2.10 Profil Hidrolis

Profil hidrolis digambarkan untuk mendapatkan tinggi muka air pada masing masing mulut instalasi titik profil ini menunjukkan adanya kehilangan tekanan (*headloss*) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan titik berat tinggi setiap unit instalasi dapat ditentukan sesuai dengan sistem yang digunakan serta perhitungan kehilangan tekanan baik pada perhitungan yang telah dilakukan pada bak masing masing bangunan sebelumnya maupun yang langsung dihitung pada bab ini.

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan atau head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran titik 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 haid tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa. Hal-hal yang harus 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 di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu :

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu

- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus dihitung secara khusus

2. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris yang berhubungan dengan bangunan pengolahan adalah sebagai berikut :

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan

Cara yang mudah dengan monogram “Hazen William” Q atau V diketahui maka S didapat dari monogram.

- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Cara yang mudah adalah dengan meng ekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus S .

- c. Kehilangan tekanan pada pompa

Bisa dihitung dengan rumus, grafik karakteristik pompa serta dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis pompa, cara pemasangan dan sebagainya.

- d. Kehilangan tekanan pada flok

Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok. Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga dapat mempengaruhi pada proses pengolahan. Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara :

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir.
- b. Menambahkan kehilangan tekanan antara *clear well* dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air pada *clear well*.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum *clear well* demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama sesudah intake.

Jika tinggi muka air bangunan sesudah intake ini lebih tinggi dari tinggi muka air

sumber, maka diperlukan pompa di intake untuk menaikkan air.