

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

Air bersih merupakan kebutuhan pokok untuk seluruh kehidupan di bumi. Air bersih bersumber dari air baku yang merupakan dasar pengolahan air bersih bagi kebutuhan domestik hingga industri. Air baku dapat berasal dari berbagai jenis sumber air, yakni air sungai, air tanah, dan air hujan.

Standar kualitas air bersih di Indonesia diatur pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 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 bersih dapat diklasifikasikan menjadi 4 (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 pertanaman;
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain.

Agar baku mutu air minum dapat terpenuhi, maka diperlukan berbagai usaha untuk menjaga kualitas air, yaitu:

1. Kontrol pada sumber air dapat dilakukan dengan pemilihan sumber air, control terhadap sumber polusi yang masuk ke sumber air, perbaikan kualitas sumber, kontrol pertumbuhan biologi.
 2. Instalasi pengolahan air yang tepat
 3. Kontrol pada sistem transmisi dan distribusi untuk mencegah kontaminan.
- Air baku yang digunakan dalam pengolahan air bersih umumnya menggunakan air permukaan atau air sungai. Namun dalam Tugas Perancangan Bangunan Pengolahan Air Bersih kali ini menggunakan hasil pengolahan air buangan Industri Gula yang sudah memenuhi baku mutu melalui proses pengolahan air buangan sebelumnya. Adapun karakteristik yang terkandung dalam air baku yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.1.1 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Tingkat penggunaan oksigen sering disebut sebagai *Biological Oxygen Demand* (BOD). Nilai BOD adalah parameter yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dari mikroorganisme lain yang terlibat dalam air untuk mengurai senyawa organik yang dapat terurai selama periode waktu tertentu. BOD yang lebih tinggi juga dapat mengakibatkan penipisan oksigen dari air sungai dan kondisi anaerobik dalam air sungai (Astuti & Rosemalia, 2022).

Pengujian nilai BOD dilakukan dengan simulasi proses biologis alamiah melalui inkubasi sampel air pada suhu 20°C selama 5 hari dengan berlangsungnya reaksi oksidasi senyawa organik dengan oksigen melalui bantuan bakteri aerob. Sebagai hasil dari reaksi tersebut terbentuk karbon dioksida, air, dan amonia yang menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen setiap harinya (Saputra *et al.*, 2023).

Jika senyawa organik teroksidasi secara kimiawi dan bukan biologis, pengujian dapat dilakukan lebih singkat. Oksidasi tersebut dapat dilakukan melalui pengujian COD karena hampir semua senyawa organik lebih mudah teroksidasi secara COD, dibandingkan secara BOD. Hasil pengujian nilai COD terkadang selalu lebih tinggi daripada hasil pengujian nilai BOD (Saputra *et al.*, 2023).

2.1.2 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 (potasium 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).

Pada peraturan yang digunakan sebagai acuan tugas perancangan ini, yakni PERMENKES Nomor 492 Tahun 2010, tidak tercantum baku mutu untuk parameter COD dan BOD. Sehingga acuan yang digunakan adalah parameter zat organik (KMnO_4) yakni sebesar 10 mg/L. Baku mutu KMnO_4 , atau angka permanganat, merupakan ukuran kandungan zat organik dalam suatu sampel, biasanya air, yang dinyatakan dalam miligram KMnO_4 per liter (mg/L). Ini mengindikasikan jumlah zat organik yang dapat dioksidasi oleh KMnO_4 , yang menunjukkan tingkat polusi organik dalam sampel tersebut (Uwidia & Ademoroti, 2016).

Hubungan antara COD dengan Angka Permanganat adalah angka permanganat mengukur zat organik yang dapat dioksidasi oleh kalium permanganat dalam kondisi asam, sedangkan COD mengukur semua zat organik yang dapat dioksidasi secara kimia, termasuk yang sulit dioksidasi oleh permanganat. Secara umum, nilai COD akan lebih tinggi daripada angka permanganat untuk sampel air yang sama, karena COD mencakup oksidasi zat organik yang lebih luas. Pada air permukaan, rasio antara COD dengan Angka Permanganat adalah 2,5 : 1 atau 3,5 : 1 (Zeng et al, 2014)

2.1.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS adalah jumlah padatan tersuspensi yang terkandung dalam air limbah. TSS juga digunakan sebagai parameter untuk mengukur kualitas air (Sahendra et al., 2021). Nilai TSS menunjukkan jumlah padatan tersuspensi yang mempengaruhi kekeruhan dan transparansi serta berdampak pada intensitas cahaya yang dapat masuk dalam air. Nilai TSS dalam setiap air limbah selalu

berbeda-beda bergantung pada jumlah dan kualitas bahan organik dan anorganik dalam bentuk partikel terendapkan, melayang, dan komponen tersuspensi koloid (Rhofita & Russo, 2019).

Apabila langsung dibuang tanpa dilakukannya pengolahan, materi tersuspensi mempunyai efek yang kurang baik terhadap kualitas air karena menyebabkan kekeruhan dan mengurangi cahaya yang dapat masuk ke dalam air. Oleh karenanya, manfaat air dapat berkurang, dan organisme yang butuh cahaya akan mati. Setiap kematian organisme akan menyebabkan terganggunya ekosistem akuatik.

TSS (Total Suspended Solids) dan kekeruhan merupakan dua parameter yang saling terkait dalam kualitas air, tetapi keduanya berbeda. TSS mengacu pada jumlah partikel padat yang tersuspensi di dalam air, sedangkan kekeruhan mengukur seberapa keruh air tersebut akibat hamburan cahaya oleh partikel-partikel tersebut. Sehingga, TSS adalah penyebab kekeruhan, namun perlu dilakukan uji laboratorium lebih lanjut menggunakan alat instrumen yang relevan untuk menganalisis besar kekeruhan (NTU) yang disebabkan oleh kandungan *suspended solid* di dalam air baku.

2.2 Bangunan Pengolahan Air

2.2.1 Preklorinasi

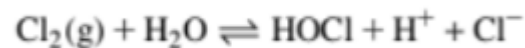
Pre-klorinasi merupakan proses injeksi klorin pada air baku sebelum masuk ke dalam unit pengolahan utama. Fungsi preklorinasi adalah untuk menghilangkan mikroba yang diperkirakan masih terkandung di air baku akibat adanya pengolahan biologis pada unit pengolahan air buangan.

Preklorinasi juga dilakukan dengan tujuan sebagai pre-treatment dalam pengolahan menggunakan unit membran, agar menghindari adanya *biofouling* akibat kandungan mikroba yang masih ada di dalam air baku.

Mengutip pada SNI 6774:2008 dosis sisa klor yang dianjurkan adalah 0,2-0,35 mg/l. 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 klor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit. Sedangkan menurut Qasim (2000) dosis klorin yang ideal untuk dibubuhkan adalah 0,2 -0,4 mg/L.

Senyawa chlor 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 klorinasi maka terlebih dahulu harus ditentukan dosis chlor yang dibutuhkan. Bak ini sebagai tempat pembubuhan klorin sehingga terjadi kontak antara air yang telah diolah dengan klorin, lalu kemudian dapat diinjeksikan ke dalam air olahan. Pada saat diinjeksikan ke dalam air, akan terjadi reaksi antara klorin dalam bentuk Cl_2 dengan air atau H_2O yakni menghasilkan senyawa asam hipoklorit dan HCl . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



2.2.2 Bak Penampung

Dalam sistem pengolahan air, unit pertama yang dibutuhkan adalah bak pengumpul atau biasa dikenal dengan nama bak penampung. Bak pengumpul merupakan bangunan yang biasa disediakan dalam pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) pada bak pengolahan air. Menurut Sugiharto (1987) sebelum memasuki proses pengolahan, perlu dilakukan pemerataan debit dan beban pencemar agar menjaga kinerja pengolahan selanjutnya.



Gambar 2.1 Bak Penampung

Bak penampung berfungsi sebagai tempat untuk mengumpulkan air dan menstabilkan debit air sebelum selanjutnya dialirkan menuju unit pengolahan selanjutnya. Menurut Said (2014) waktu tinggal yang dibutuhkan pada bak penampung yaitu 4 –8 jam agar fluktuasi debit dapat diminimalisir, serta agar tidak terjadi pula proses biologis oleh mikroorganisme. Namun, adapun kriteria perencanaan untuk bak penampung yang lain:

- Waktu tinggal dalam bak = kurang dari 2 jam
- Tinggi bak = 1,5 – 2,5 m

(Metcalf & Eddy, 2003)

Namun, perlu diperhatikan untuk waktu tinggal yang lebih efektif untuk mengumpulkan air yang akan diolah dengan mempertimbangkan jika sewaktu-waktu terdapat adanya *maintenance* unit instalasi yang mengganggu laju atau kinerja pengolahan. Sumur pengumpul dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk memompakan air limbah ke instalasi pengolahan air limbah atau biasa disebut juga stasiun pompa. Berikut merupakan contoh gambar dan desain perencanaan dari sumur pengumpul.

2.2.3 Koagulasi-Flokulasi

Pada pengolahan fisika-kimia, salah satu unit yang umum digunakan dalam hampir seluruh proses pengolahan air bersih adalah proses koagulasi dan flokulasi. Koagulasi dan flokulasi merupakan proses penting yang digunakan untuk mengendapkan partikel koloid dan tersuspensi pada air secara efektif dengan penggunaan zat kimia berupa koagulan (Faryandi, 2020).

Proses koagulasi merupakan proses di mana dilakukannya pengadukan cepat pada air yang diolah. Hal ini dilakukan untuk mendestabilisasi koloid atau padatan tersuspensi dalam air, pada proses ini juga akan ditambahkan suatu koagulan yang berfungsi untuk menangkap koloid-koloid tersebut dan menjadikannya suatu flok. Koagulan selama ini diketahui sangat efektif

menghilangkan residu terlarut pada air. Bakteri dan partikel-partikel logam berbahaya akan terperangkap ke dalam flok-flok yang terbentuk dan mengendap.

Selama ini telah banyak dilakukan penelitian untuk menjernihkan air melalui berbagai jenis koagulan alternatif. Jenis koagulan yang sering digunakan di antaranya adalah; alum (tawas), kapur, Fero Sulfat (FeSO_4), Poli Aluminium klorida (PAC), tepung biji kelor, serbuk sekam padi, dan lain-lain (Ramadhani et al., 2013). Sedangkan untuk proses flokulasi sendiri merupakan kelanjutan dari proses koagulasi dimana mikro flok hasil koagulasi mulai menggumpalkan partikel-partikel koloid menjadi flok-flok besar yang dapat diendapkan pada unit sedimentasi dan proses ini dibantu dengan pengadukan lambat (Susanti & Hartati, 2003). Menurut (Eckenfelder, 2000) aplikasi penambahan bahan kimia untuk proses koagulasi bisa dilihat pada tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Penentuan Koagulan

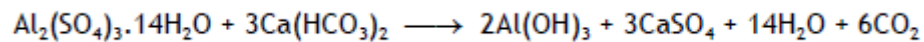
Proses Kimia	Dosis (mg/L)	pH	Keterangan
Kapur	150 - 500	9 - 11	Air limbah dengan kadar alkalinity rendah dan tinggi. Reaksi kimia: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
Alum	75 - 250	4,5 - 7	Air limbah dengan kadar alkalinity rendah dan tinggi. Reaksi kimia: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$
FeCl_3 , FeCl_2	35-150	4,0-7,0	Air limbah dengan kadar alkalinity rendah dan tinggi. Reaksi kimia: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow$
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	70-200	4,0-7,0	

			$\text{Fe(OH)}_3 + 3\text{HCL}$
--	--	--	---------------------------------

Sumber : Eckenfelder, 2000

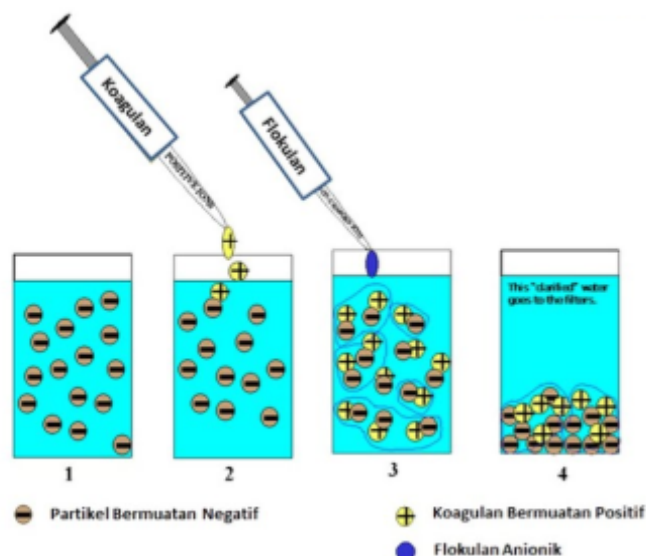
Tabel diatas dapat digunakan sebagai acuan pemilihan jenis koagulan, namun penentuan dosis koagulan yang dibubuhkan pada unit koaflok tetap harus melalui metode jar test terlebih dahulu. Metode Jar Test dapat digunakan untuk menentukan dosis bahan kimia yang optimum yang diperlukan dalam proses koagulasi-flokulasi (Susanti & Hartati, 2003).

Dalam perencanaan ini digunakan koagulan jenis aluminium sulfat. Reaksi kimia yang terjadi untuk menghasilkan flok adalah :



2.3.3.1 Pengadukan

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi-flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok.



Gambar 2.2 Proses Penggabungan Flok

Jenis pengadukan dapat dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan. Gradien kecepatan merupakan fungsi dari tenaga yang disuplai (P):

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}}$$

Keterangan :

P = Suplai tenaga ke air (N.m/detik)

V = Volume air yang diaduk (m^3)

μ = Viskositas absolute (N.detik/ m^3)

1. Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik-1) selama 5 hingga 60 detik atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.

Untuk proses koagulasi-flokulasi:

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik-1}$

Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda):

- Waktu detensi = 20 - 60 detik
- $G = 1000 - 700 \text{ detik-1}$

Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)

- Waktu detensi = 0,5 - 6 menit

- $G = 1000 - 700 \text{ detik}^{-1}$

Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. Pengadukan mekanis
 2. Pengadukan hidrolis
 3. Pengadukan pneumatik
2. Pengadukan Lambat

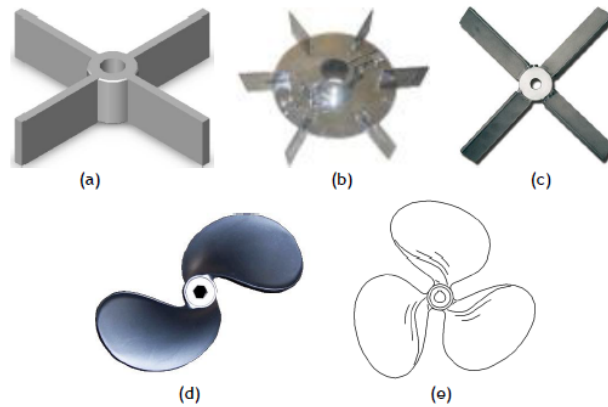
Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GT_d (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar.

Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut:

- a. Untuk air sungai:
 - Waktu detensi = minimum 20 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
- b. Untuk air waduk:
 - Waktu = 30 menit
 - $G = 10 - 75 \text{ detik}^{-1}$
- c. Untuk air keruh:
 - Waktu dan G lebih rendah
- d. Bila menggunakan garam besi sebagai koagulan:
 - G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
- e. Untuk flokulator 3 kompartemen:
 - G kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G kompartemen 2 : 40 % dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3 : nilai terkecil

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller).

Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam impeller, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (balong-baling).



Gambar 2.3 Tipe Turbine dan Propeller.

(a) Turbine blade lurus, (b) Turbine blade dengan piringan, (c) Turbine dengan blade menyerong, (d) Propeller 2 blade

Sumber : Qasim, 2000.

Nilai gradien kecepatan dan waktu pengadukan (t_d) untuk impeller, memiliki kriteria yang perlu diperhatikan.

Tabel 2.2 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu Pengadukan, t_d (detik)	Gradien Kecepatan (detik^{-1})
20	1000
30	900
40	790
$50 \geq$	700

(Sumber : Reynold & Richard, 1996)

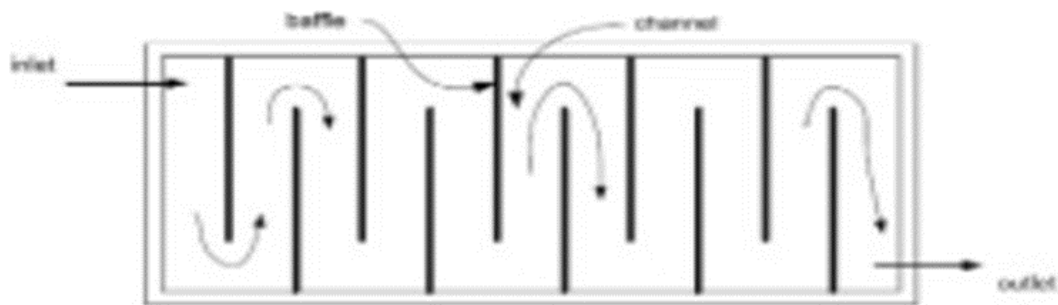
Tabel 2.3 Konstanta KL dan KT untuk Impeller

Jenis Impeller	KL	KT
<i>Propeller, Pitch of 1, 3 blades</i>	41	0.32
Propeller, Pitch of 2, 3 blades	43.5	1
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60	5.31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65	5.75
Turbine, 6 curved blades	70	4.80
Fan turbine, 6 blades at 45*	70	1.65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97.5	1.08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172.5	1.12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43	2.25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36.5	1.70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33	1.15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49	2.75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 6$	71	3.82

(Sumber : Reynold & Richard, 1996)

Selain pengadukan mekanis, dapat dilakukan pula pengadukan hidrolis, yang dalam perencanaan ini diterapkan pada bak flokulasi menggunakan pengadukan baffle channel.

Proses flokulasi berfungsi untuk membentuk flok-flok agar menjadi besar dan stabil sehingga dapat diendapkan dengan mudah atau disaring. Untuk proses pengendapan dan penyaringan, partikel-partikel kotoran halus maupun koloid yang ada dalam air baku harus digumpalkan menjadi flok-flok yang cukup besar dan kuat untuk diendapkan atau disaring. Proses pembentukan flok dimulai dari proses koagulasi sehingga terbentuk flok-flok yang masih halus. Flok tersebut kemudian akan saling bertumbukan dengan sesama flok atau dengan partikel kotoran yang ada dalam air baku sehingga akan menggabung membentuk gumpalan flok yang besar sehingga mudah mengendap (Said, 2017).



Gambar 2.4 Pengadukan Baffle Channel

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

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

2.2.4 Sedimentasi

Sedimentasi merupakan pemisahan solid dan liquid dengan memakai pengendapan secara gravitasi untuk menyisahkan suspended solid. Sedimentasi pada pengolahan air ditujukan untuk :

1. Pengendapan air permukaan untuk penyisihan partikel diskrit

2. Pengendapan flok hasil koagulasi-flokulasi
3. Pengendapan lumpur hasil pembubuhan soda kapur pada proses penurunan kesadahan
4. Pengendapan presipitat pada penyisihan besi dan mangan dengan oksidasi

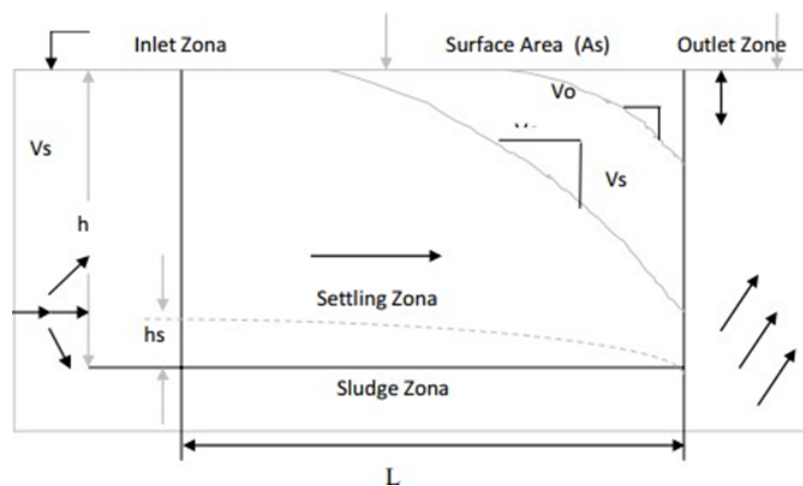
Berdasarkan bentuknya, bak sedimentasi dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Segi empat (rectangular), dimana air mengalir horizontal dari inlet menuju outlet, sementara partikel mengendap ke bawah.
2. Lingkaran (circular) – center feed, dimana air masuk melalui pipa menuju inlet bak di bagian tengah bak dan kemudian mengalir secara horizontal dari inlet menuju outlet di sekeliling bak.
3. Lingkaran (circular) – peripheral feed, dimana air masuk melalui sekeliling lingkaran dan secara horizontal mengalir menuju ke outlet di bagian bawah lingkaran.

Sedangkan menurut tipenya, sedimentasi dibagi menjadi :

1. Sedimentasi tipe 1 yang ditujukan untuk mengendapkan partikel diskrit
2. Sedimentasi tipe 2 yang ditujukan untuk mengendapkan partikel flokulen
3. Sedimentasi tipe 3 yang ditujukan untuk mengendapkan lumpur biologis
4. Sedimentasi tipe 4 yang ditujukan untuk memampatkan partikel yang telah mengendap akibat dari berat partikel

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



Gambar 2.5 Zona Pada Bak Sedimentasi

(Sumber : Al-Layla, 1980)

Zona inlet merupakan tempat air masuk kedalam bak. Zona pengendapan merupakan tempat flok atau partikel mengalami proses pengendapan, ruang lumpur merupakan tempat lumpur mengumpul sebelum keluar bak. Zona outlet merupakan tempat dimana air akan meninggalkan bak yang biasanya berbentuk pelimpah (weir) (Masduqi, 2016). Untuk pengolahan air minum, sedimentasi yang umum digunakan yaitu sedimentasi tipe 2. Sedimentasi tipe 2 merupakan pengendapan partikel flokulan dalam air, dimana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel sehingga ukuran flok akan semakin besar dan pada akhirnya akan mengendap (Masduqi, 2016).

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Sedimentasi Tipe 2

<i>Item</i>	<i>U.S customary units</i>			<i>S.I units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Rentang</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Rentang</i>	<i>Typical</i>
<i>Primary sedimentation tanks followed by secondary treatment</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,2-1,2	2	Jam	1,5-1,2	2
Kecepatan alir						
Rata-rata	Gal/ft ² s	800-1200	1000	m ³ /m ² s	30-50	40
Puncak	Gal/ft ² s	2000-3000	2500	m ³ /m ² s	80-120	100
<i>Item</i>	<i>U.S customary units</i>			<i>S.I units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Rentang</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Rentang</i>	<i>Typical</i>
<i>Weir loading</i>	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250
<i>Primary settling with waste activated sludge return</i>						
Waktu tinggal	Jam	1,5-2,5	2	Jam	1,5-2,5	2
Kecepatan alir						

Rata-rata	Gal/ft ² s	600-800	1000	m ³ /m ² s	24-32	28
Puncak	Gal/ft ² s	1200-1700	1500	m ³ /m ² s	48-70	60
<i>Weir loading</i>	Gal/ft ² s	10000-40000	20000	m ³ /m ² s	125-500	250

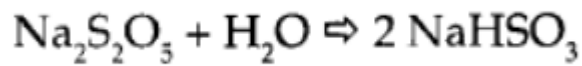
(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003)

2.2.5 Deklorinasi

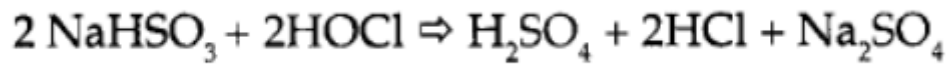
Deklorinasi adalah proses menghilangkan klorin dari air. Klorin umumnya ditambahkan ke air, terutama dalam sistem air minum, sebagai desinfektan untuk membunuh bakteri dan mikroorganisme berbahaya. Namun, klorin berlebih atau sisa klorin dalam perencanaan ini dapat berpotensi mengganggu kinerja unit membran ultrafiltrasi dan reverse osmosis. Sisa klorin, terutama dalam bentuk residu, dapat menyebabkan degradasi dan penurunan kinerja membran module, termasuk penurunan produksi air, peningkatan penurunan tekanan, dan penurunan kualitas air yang dihasilkan (Kucera, 2010).

Cara kerja deklorinasi adalah dengan menghilangkan residu klorin dari air olahan yang telah didisinfeksi sebelum dilepaskan ke lingkungan. Deklorinasi biasanya dilakukan dengan menambahkan bahan kimia seperti sulfur dioksida atau garam sulfite (misalnya sodium sulfite, sodium bisulfite, atau sodium metabisulfite) yang bereaksi dengan klorin untuk mengubahnya menjadi bentuk yang tidak beracun atau tidak aktif. Selain itu, karbon aktif juga dapat digunakan untuk deklorinasi, meskipun lebih mahal. Reaksi ini berlangsung hampir secara instan dan memerlukan pengaturan dosis yang tepat untuk menghindari overdosis yang dapat menurunkan oksigen terlarut dan menurunkan pH air (EPA, 1998).

Dalam perencanaan ini, agen deklorinasi yang digunakan adalah Natrium Metabisulfite. Mengutip pada EPA (1998) dosis Natrium metabisulfite yakni 1,38 mg/l dibutuhkan dalam menghilangkan 1 mg/l klorin bebas. Namun, disebutkan oleh Kucera (2010) setidaknya 2 mg/l natrium metabisulfite merupakan dosis optimum untuk menghilangkan 1 mg/l klorin bebas. Reaksi yang terjadi pada proses deklorinasi adalah :

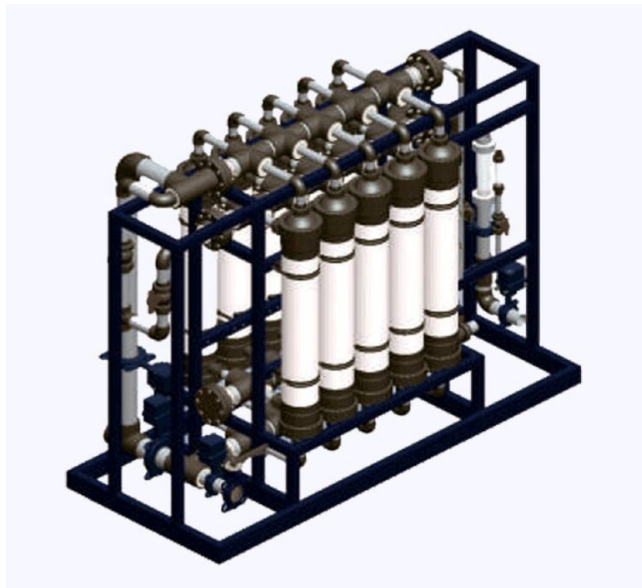


kemudian, natrium metabisulfite akan mereduksi asam hipoklorit sebagai berikut :



2.2.6 Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi (UF) adalah salah satu metode pemisahan membran yang bekerja dengan prinsip penyaringan fisik melalui membran semipermeabel. Teknologi ini mampu menghilangkan partikel-partikel tersuspensi, mikroorganisme, dan makromolekul dari air baku. Ukuran pori membran UF umumnya berkisar antara 0,01 hingga 0,1 mikron, sehingga sangat efektif untuk menghilangkan bakteri, virus, dan koloid dari air (Mackenzie, 2019).



Gambar 2.6 Unit Ultrafiltrasi

Unit UF bekerja dengan memberikan tekanan pada air baku untuk melewati membran, sementara kontaminan dengan ukuran lebih besar dari pori membran akan tertahan dan dibuang sebagai konsentrat (retentate). Proses ini bersifat fisik dan tidak memerlukan bahan kimia koagulan seperti dalam metode

konvensional (Judd, 2006). Dalam pengolahan air minum, UF sering digunakan sebagai tahap pemurnian setelah koagulasi-flokulasi atau sebagai pre-treatment untuk reverse osmosis (RO).

Terdapat beberapa jenis material membran UF yang dapat digunakan, namun dalam perencanaan ini menggunakan membran dengan material PVDF karena mempertimbangkan ketahanan dalam pencegahan fouling.

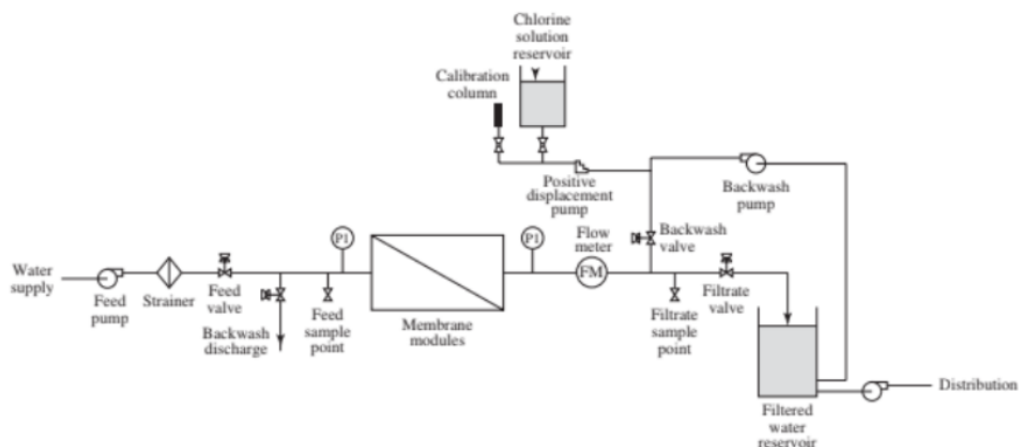
TABLE 12-3
Characteristics of selected membrane materials

Membrane material	Type	Hydrophobicity	Oxidant tolerance	pH range	Fouling resistance/cleanability
PVDF	MF/UF	Modified hydrophilic	Very high	2–11	Excellent
PP	MF	Slight hydrophobic	Low	2–13	Acceptable
Polyethersulfone (PES)	UF	Very hydrophilic	High	2–13	Very good
Polysulfone (PS)	UF	Modified hydrophilic	Moderate	2–13	Good
Cellulose acetate (CA)	UF	Naturally hydrophilic	Moderate	5–8	Good

(Source: AWWA, 2005.)

Gambar 2.7 Material Membran UF

Sumber : Mackenzie, 2019



Gambar 2.8 Skema Instalasi Pengolahan pada Unit UF

Sumber : Reynold & Richard, 1996

Perencanaan sistem UF melibatkan sejumlah parameter teknis dan operasional yang penting untuk memastikan kinerja optimal, efisiensi biaya, dan umur panjang membran. Kriteria perencanaan yang umum digunakan antara lain :

TABLE 12-5
Range of design values for membrane filters

Parameter	Range of values	Comment
Permeate flux		
Pressurized	30–170 L/m ² · h	
Vacuum	25–75 L/m ² · h	
Transmembrane pressure (TMP)		
Pressurized	20–100 kPa	
Vacuum	–7 to –80 kPa	
Area of membrane/module	8–70 m ² /module	
Modules/rack	2–300	
Module dimensions		
Diameter	100–300 mm	
Length	1–6 m	
Filter run duration	30–90 min	
Backwash		
Duration	1–5 min	
Pressure	35–350 kPa	
Flow rate	6 L/min/m ²	
Time between chemical cleaning	5–180 d	30–180 d common

Gambar 2.9 Kriteria Perencanaan Membran UF

(Sumber : Mackenzie, 2019)

Flux merupakan parameter utama yang menunjukkan laju aliran air permeat per satuan luas membran (L/m²/h). Flux desain untuk UF biasanya berkisar antara 30–170 L/m²/h, tergantung pada kualitas air baku dan frekuensi backwash. Penentuan flux yang tepat penting untuk mencegah fouling dan menjaga efisiensi sistem (Chong et al., 2008).

Dalam proses maintenance dan pencegahan fouling pada membran UF, dilakukan metode pembersihan yang berbeda pada periode masa tertentu. Backwash adalah metode pembersihan membran secara berkala dengan cara membalik aliran filtrat dari sisi permeat ke sisi feed untuk mendorong partikel yang menempel keluar dari membran. Namun, backwash konvensional sering tidak cukup untuk menghilangkan fouling yang lebih kompleks seperti biofouling atau scaling.

Untuk meningkatkan efektivitas pembersihan, diterapkan metode Chemically Enhanced Backwash (CEB), yaitu proses backwash yang ditambah

dengan bahan kimia seperti natrium hipoklorit (NaOCl), asam sitrat, atau natrium hidroksida (NaOH). CEB biasanya dilakukan dalam siklus waktu tertentu (misalnya setiap 4–8 jam), dan bertujuan mengurangi akumulasi fouling sebelum mencapai tingkat yang memerlukan pembersihan berat (Chong et al., 2008).

Selain CEB pada periode yang lebih lama, perlu dilakukan metode pembersihan CIP (Clean in Place). CIP adalah metode pembersihan mendalam (deep cleaning) yang dilakukan ketika CBE tidak lagi mampu mengembalikan performa membran secara optimal. CIP melibatkan perendaman dan sirkulasi bahan kimia pembersih dalam sistem UF tanpa membongkar unit membran. Bahan kimia yang digunakan dalam CIP bergantung pada jenis fouling, seperti:

- Asam sitrat atau asam nitrat untuk fouling anorganik (scaling).
- NaOH untuk fouling organik.
- NaOCl untuk biofouling.

CIP dilakukan berdasarkan indikator penurunan performa, misalnya TMP yang melebihi batas tertentu atau penurunan fluks di bawah ambang batas (Meng et al., 2009). Frekuensi CIP bervariasi tergantung pada kualitas air baku dan performa sistem, biasanya dilakukan setiap beberapa minggu hingga beberapa bulan.

2.2.7 Reverse Osmosis

Reverse Osmosis (RO) adalah teknologi pemisahan berbasis membran yang digunakan untuk menghilangkan sebagian besar zat terlarut (terutama ion dan senyawa anorganik) dari air. Prinsip dasar RO adalah membalik proses osmosis alami dengan menerapkan tekanan pada larutan pekat agar air murni dapat melewati membran semipermeabel, sementara zat terlarut tertinggal (Kucera, 2010). RO dapat menghilangkan hingga 99% kontaminan terlarut, termasuk garam, mikroorganisme, logam berat, dan bahan organik terlarut, menjadikannya sangat efektif dalam pengolahan air minum, air proses industri, hingga desalinasi air laut.



Gambar 2.10 Reverse Osmosis

Sistem RO terdiri dari beberapa komponen utama: pompa tekanan tinggi, housing membran, cartridge filter, sistem dosing bahan kimia, dan unit pembuangan air reject. Air baku dialirkan melalui membran spiral wound di bawah tekanan tinggi, sehingga molekul air melewati membran dan zat terlarut ditahan. Pentingnya tekanan transmembran sebagai parameter utama dalam proses RO. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tekanan osmotik larutan, khususnya pada air laut atau air dengan TDS tinggi.

Species	Measure	Value
Suspended Solids	Turbidity	< 1 NTU
Colloids	SDI	< 5
Microbes	Dip Slides*	< 1,000 CFU/ml**
Organics	TOC Concentration	< 3 ppm
Color	Color units	< 3 APHA
Metals: iron, manganese, aluminum	Concentration	< 0.05 ppm
Hydrogen Sulfide	Concentration	< 0.1 ppm

* Other methods see Chapter 7.3

** In RO reject stream

Gambar 2.11 Kriteria Air Olahan untuk Reverse Osmosis

(Sumber : Kucera, 2010)

Sama seperti ultrafiltrasi, flux pada unit reverse osmosis harus diperhatikan untuk menghindari adanya fouling dan menjaga keefektifan sistem pengolahan. Kriteria flux ditentukan berdasarkan jenis air baku yang akan diolah. Besaran flux ini nantinya akan menentukan jumlah modul atau element membran yang perlu digunakan dalam pengolahan (Kucera, 2010),

Table 3.3 Recommended flux as a function of influent water source.

Feed Water Source	SDI	Recommended Flux, gfd *
RO Permeate	< 1	21 – 25
Well Water	< 3	14 – 16
Surface Supply	< 3	12 – 14
Surface Supply	< 5	10 – 12
Secondary Municipal Effluent— Microfiltration Pretreatment**	< 3	10 – 14
Secondary Municipal Effluent— Conventional Pretreatment	< 5	8 – 12

* for 8-inch diameter, brackish water membrane modules

** Microfiltration pore size < 0.5 microns.

Gambar 2.12 Kriteria Flux untuk Reverse Osmosis

Selain kriteria flux, terdapat juga kriteria recovery effluent atau recovery rate adalah persentase air baku (feedwater) yang berhasil dikonversi menjadi air produk (permeat) dalam proses reverse osmosis. Recovery ini menjadi salah satu parameter kunci dalam desain dan operasi sistem RO karena berhubungan langsung dengan efisiensi penggunaan air dan biaya operasional.

Menurut Kucera (2010), *"The typical recovery for brackish water RO systems is between 65% and 85%, whereas for seawater RO systems, recovery is typically in the range of 35% to 50%"*. Artinya, dari setiap 100 liter air baku, hanya sekitar

35–85 liter yang berhasil dikonversi menjadi air bersih, sisanya dibuang sebagai air reject (concentrate).

Komponen penting lainnya dalam instalasi pengolahan air menggunakan Reverse Osmosis adalah cartridge filter. Cartridge filter digunakan sebagai tahap pra-penyaringan untuk melindungi membran RO dari partikel kasar dan padatan tersuspensi. Filter ini umumnya memiliki rating 1–5 mikron, dan Kucera (2010) menekankan pentingnya mengganti cartridge secara rutin agar tidak menjadi sumber biofouling dan menjaga performa sistem secara keseluruhan.

2.2.8 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu sistem penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengan debit pemakaian air. Pada saat jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air. Berdasarkan tinggi 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 instalasi pengolahan air minum tersebut, dengan mengetahui jumlah dan pemakaian air untuk instalasi dapat direncanakan dimensi menara instalasi 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 2.13 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 2.14 Ground Reservoir

2.3 Persen Removal

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

Tabel 2.2 Persen Removal Unit Pengolahan

Jenis Bangunan	Parameter Removal	Kemampuan Penyisihan (%)	Sumber
Preklorinasi	-	-	-
Bak Penampung	-	-	-
Koagulasi	-	-	-
Flokulasi <i>Baffle Channel</i>	-	-	-
Sedimentasi	TSS	90% - 100%	Droste, Water and Wastewater Treatment, page 223
Deklorinasi			
Ultrafiltrasi	1. BOD 2. COD 3. TSS 4. Bakteri dan protozoa	80% - 90% 75% - 90% 96% - 99% >6 log	Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse 5th, Hal 1209
Reverse Osmosis	1. BOD 2. COD 3. TSS 4. Bakteri 5. Protozoa	90% - 100% 90% - 100% 90% - 100% 4 - 7 log >7 log	Syed R. Qasim, Wastewater Treatment Plants Design and Operation. Page 74 dan Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse 5th, Hal 1209

Reservoir	-	-	-

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- a. Kehilangan Tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu air
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat dan lain-lain harus dihitung secara khusus

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

Kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris;
- b. Kehilangan tekanan pada perpipaan;
- c. Kehilangan tekanan pada aksesoris; dan
- d. Kehilangan tekanan pada pompa.

3. Tinggi Muka Air

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

- a. Menentukan tinggi muka air bangunan pengolahan yang paling akhir
- b. Tambahkan kehilangan tekanan antara clear well dengan bangunan sebelumnya pada ketinggian muka air di clear well.
- c. Didapat tinggi muka air bangunan sebelum clear well demikian seterusnya sampai bangunan yang pertama
- d. Jika tinggi muka air bangunan selanjutnya lebih tinggi dari tinggi muka air sumber maka diperlukan pompa untuk menaikkan air