

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

Air baku adalah air yang menjadi bahan baku utama air olahan untuk kegiatan tertentu. Kegunaan air baku terbesar adalah untuk air minum. Pada dasarnya setiap sumber air dapat digunakan sebagai sumber air baku untuk air minum. Tetapi semakin bagus kualitas air baku maka semakin baik untuk dijadikan sebagai air baku air minum (Kementrian Pekerjaan Umum, 2018). Berikut ini merupakan beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan kualitas air baku air minum adalah sebagai berikut :

2.1.1 *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah sebuah indikator yang digunakan untuk mengidentifikasi jumlah senyawa organik yang terlarut dan menunjukkan seberapa banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba dalam proses pemecahan materi organik secara biologis di dalam limbah melalui dekomposisi aerobik (Metcalf dan Eddy, 2003). Pengukuran BOD bertujuan untuk menentukan jumlah karbon organik yang dapat diurai dengan cara biologis. Dalam konteks ini, BOD diukur menggunakan metode yang berlangsung selama 5 (lima) hari, yang juga dikenal sebagai BOD₅. Perry (1998) menjelaskan bahwa periode 5 (lima) hari hanya merefleksikan sebagian dari total BOD. Diperkirakan oleh Perry (1998) bahwa sekitar 70% bahan organik mampu terurai dalam waktu 5 hari oleh mikroorganisme secara alami. Untuk limbah domestik pada suhu 20°C, semua materi organik dapat terurai sepenuhnya. Namun, di bawah kondisi tertentu, limbah rumah tangga mungkin mengandung senyawa nitrogen organik, ammonia, dan nitrit yang dapat memerlukan oksigen untuk diubah menjadi nitrat. Proses ini bisa terjadi pada hari ke-6. Karena itu, BOD₅ dianggap lebih mencerminkan fenomena oksidasi bahan organik dalam limbah rumah tangga. Selain itu, BOD₅ telah diakui dan digunakan sebagai metode oleh U.S. Environmental Protection Agency (EPA) untuk pengawasan kualitas limbah rumah tangga (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018).

2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia merujuk pada jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi limbah yang terdapat dalam air melalui proses kimia (Metcalf & Eddy et al., 2007). Ketika konsentrasi senyawa organik dan anorganik sangat tinggi, oksigen yang terlarut dalam air bisa berkurang hingga nol, menyebabkan tanaman air, ikan, dan makhluk air lainnya yang memerlukan oksigen tidak dapat bertahan hidup. Biasanya, nilai COD selalu lebih tinggi daripada BOD ultimate, meskipun dalam beberapa kasus kedua nilai tersebut bisa setara, namun situasi ini jarang terjadi. Kejadian tersebut mungkin disebabkan oleh banyaknya bahan organik yang sukar untuk terdegradasi secara biologis, seperti lignin yang hanya dapat dioksidasi melalui cara kimia, zat anorganik yang dioksidasi dengan dikromat dapat meningkatkan konsentrasi organik di dalam sampel, senyawa organik tertentu dapat menimbulkan racun bagi mikroorganisme yang diperlukan untuk uji BOD, dan tingginya nilai COD dapat disebabkan oleh interaksi zat anorganik dengan dikromat.

2.1.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solids (TSS) yaitu sebutan pada partikel yang sulit mengendap, melayang di dalam air, dan tidak bisa larut. Partikel TSS cenderung tidak mengendap disebabkan oleh muatan elektrostatisnya dan pergerakan acak yang dikenal sebagai gerak brown, sehingga tetap stabil dalam cairan. Partikel yang tersuspensi sangat terkait dengan tingkat keruh air. Keruhnya air mencerminkan sifat optiknya yang ditentukan oleh jumlah cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh materi yang ada di dalamnya. Keruh ini muncul akibat adanya zat organik dan anorganik yang baik tersuspensi maupun terlarut. Semakin banyak zat yang tersuspensi, semakin keruh pula air tersebut (Effendi, 2003). Batas TSS yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan PermenLH No.5 Tahun 2014 untuk limbah cair adalah 100 mg/L.

Partikel yang tersuspensi dalam parameter TSS merupakan zat padat yang berada dalam keadaan tercampur dalam air. Partikel tersebut bisa berasal dari mineral seperti pasir halus, silt, lempung, atau bahan organik seperti asam sulfat yang dihasilkan dari dekomposisi tanaman dan hewan yang telah mati. Selain itu,

partikel yang tersuspensi juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan sebagainya. Semua komponen ini biasanya berkontribusi terhadap keruh atau warna air (Nusa Idaman Said, 2017).

2.1.4 Total Dissolved Solid

Secara definisi, padatan yang terlarut merupakan padatan yang terkandung dalam proses filtrasi dan lolos dalam proses tersebut memiliki ukuran pori minimal 1.2 mm atau diklasifikasikan sebagai padatan yang terlarut (Metcalf & Eddy, 2007).

Zat padat terlarut TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah terlarutnya zat padat, baik berupa ion, berupa senyawa, koloid di dalam air. Sebagai contoh adalah air permukaan apabila diamati setelah turun hujan akan mengakibatkan air sungai maupun kolam terlihat keruh yang disebabkan oleh larutnya partikel tersuspensi di dalam air. Sedangkan pada musim kemarau, air terlihat berwarna hijau karena adanya genangan di dalam air. Konsentrasi kelarutan zat padat ini dalam keadaan normal sangat rendah, sehingga tidak terlihat oleh mata telanjang (Situmorang, 2007).

2.1.5 Fosfat

Fosfor merupakan kandungan yang penting dalam pertumbuhan ganggang, tanaman pertanian, dan organisme biologis lainnya. Layaknya nitrogen, fosfor tidak memiliki bentuk gas yang dapat mengurangi kandungan atmosfer. Karena pertumbuhannya yang berbahaya di permukaan air, maka banyak cara untuk instalasi pengolahan limbah domestik dan industri dalam mengurangi kandungan ini. Fosfor dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi dua fraksi yang pertama yaitu partikulat dan terlarut. Masing-masing fraksi dapat dibedakan lebih lanjut sebagai reaktif dan non reaktif. Fosfat (natrium pirofosfat dan natrium tripolifosfat) digunakan dalam produksi deterjen piring dan cucian untuk membantu pelunakan air, menghilangkan minyak, lemak, dan kotoran, serta mencegah bercak dan penumpukan film pada deterjen. Fosfat berperan sebagai bahan pengikat kesadahan (disebabkan oleh ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}) yang mencegah tanah berlemak, minyak dan lemak teremulsi oleh surfaktan. (Metcalf & Eddy, 2007).

2.1.6 pH (Derajat Keasaman)

pH dapat didefinisikan sebagai ukuran dari keasaman, berfungsi sebagai

salah satu indikator tingkat keasaman atau kebasaan dalam suatu larutan. Konsentrasi ion hidrogen (pH) dapat dipahami sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{pH} = -\text{Log}_{10}[\text{H}^+]$$

Mikroba yang terlibat dalam pengolahan limbah dapat berkembang dengan baik pada tingkat keasaman (pH) yang netral, yang berada dalam rentang 6 hingga 9. Limbah dengan pH tinggi menghadapi kesulitan dalam proses pengolahan biologis, sehingga diperlukan perlakuan awal melalui sistem pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007)

2.2 Bangunan Pengolahan

Dalam pelaksanaan pengolahan air minum terdapat unit yang dibutuhkan untuk mengolah air baku menjadi air minum. Berikut merupakan unit pengolahan yang digunakan dalam mengolah air minum menjadi air baku.

2.2.1 Bak Penampung

Bak penampung adalah struktur yang dirancang untuk menyimpan dan menyamakan variasi aliran pada setiap jam, serta beberapa parameter lainnya agar dapat mencapai karakteristik dan aliran air limbah yang stabil dan sesuai untuk berbagai situasi berdasarkan unit pengolahan yang akan digunakan selanjutnya. Durasi detensi maksimum dalam bak penampung adalah 30 menit untuk mencegah terjadinya endapan dan pembusukan air limbah. Tinggi air pada saat kondisi puncak harus tetap di bawah aliran masuk agar tidak terjadi aliran balik. Setelah meninggalkan bak penampung, aliran air buangan yang bervariasi setiap jam akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Ada beberapa manfaat utama dari penggunaan bak penampung, antara lain: (1) pengolahan biologi dapat dioptimalkan karena laju beban kejutan dapat diminimalkan, dan zat yang menghalangi bisa diencerkan; (2) kualitas efluen serta performa tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsistensi dalam beban padatan; (3) kebutuhan luas permukaan pada unit filtrasi bisa dikurangi, kinerja filter akan meningkat, dan siklus backwash yang lebih konsisten dapat dilakukan dengan muatan hidrolis yang

lebih rendah (efisiensi penggunaan); (4) dalam pengolahan kimia, penggunaan bahan kimia dapat dikurangi karena ketidakstabilan parameter yang berubah setiap jam. Namun, unit bak penampung juga memiliki beberapa kelemahan, seperti: (1) memerlukan area atau lokasi yang cukup besar; (2) bisa menyebabkan bau karena waktu detensi limbah awal; (3) membutuhkan operasi dan biaya tambahan yang meningkatkan total biaya (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Terdapat beberapa komponen utama dan pendukung yang harus diperhatikan dalam melakukan perencanaan bak penampung, antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018):

1. Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
2. Mixer/aerator, komponen ini berfungsi untuk menyeragamkan air limbah domestik, khususnya terkait dengan kualitas dan parameter seperti pH, endapan diskrit, dan parameter lain yang tidak sesuai untuk unit pengolahan selanjutnya, penggunaan mixer/aerator dapat menjadi opsi dalam perencanaan unit bak penampung dalam pengolahan air.

Adapun kriteria desain dan perencanaan yang harus dipenuhi untuk perencanaan unit bak penampung antara lain sebagai berikut (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018) adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman air minimal	hmin	1,5 - 2	m	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Ambang batas (<i>free board</i>)	hfb	5 - 30	%	
Laju pemompaan udara (aerasi)	Qudara	0,01 - 0,015	m ³ /m ³ - menit	

Kemiringan dasar tangki	Slope	40 - 100	mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Tinggal	Td	1 - 2	Jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018, Halaman 32)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung adalah sebagai berikut :

- Volume bak penampung = Debit/Unit \times Waktu tinggal
- Luas bak penampung = $\frac{\text{Volume bak penampung}}{\text{Kedalaman bak (H)}}$
- Dimensi (A) = $L \times W \times H$

Keterangan :

L : Length (Panjang)

W : Wide (Lebar)

H : Height (Tinggi)

- Jari-jari hidrolis (R) = $\frac{W \times H}{W + (2 \times H)}$

Keterangan :

W : Wide (Lebar)

H : Height (Tinggi)

- Slope = $\left(\frac{\text{Kecepatan aliran} \times n}{(R)^{\frac{2}{3}}} \right)^2$

Keterangan :

R : Jari-jari hidrolis

n : Koefisien kekasaran beton

- Headloss = Slope \times Panjang bak
- Cek Nre = $\frac{\rho \times v \times R}{\mu}$

Keterangan :

ρ : Massa jenis air kg/m^3

v : Kecepatan aliran m/s

R : Jari-jari hidrolis

μ : Viskositas absolut N.s/m

2.2.2 Bak Aerasi

Aerasi adalah pengolahan air dengan menambahkan oksigen ke dalam air. Dengan menambahkan oksigen, pengotor yang tersuspensi dalam air akan dihilangkan, sehingga konsentrasi polutan hilang atau bahkan hilang sama sekali. Dalam prakteknya, ada dua cara untuk menambahkan oksigen ke dalam air, yaitu memasukkan udara ke dalam air dan/atau memaksa air naik hingga bersentuhan dengan oksigen (Yuniarti et al., 2019). Tujuan utama dari proses aerasi adalah untuk memungkinkan O_2 di udara bereaksi dengan kation dalam air yang diolah. Reaksi kation dan oksigen mengoksidasi logam yang sulit larut dalam air, sehingga dapat mengendap. Keuntungan dari proses ini adalah penghilangan rasa dan bau yang tidak enak, penghilangan gas yang tidak perlu (CO_2 , metana, hidrogen sulfida) dan peningkatan keasaman air (karena kandungan CO_2 dihilangkan). Selain itu, proses udara juga dapat menurunkan kadar besi (Fe) dan magnesium (Mg). Kation Fe^{2+} atau Mg^{2+} membentuk oksida Fe_3O_3 dan MgO ketika diinjeksikan di udara (Yuniarti et al., 2019).

Empat jenis aerator yang umum digunakan menurut (Qasim et al., 2000) adalah (1) *gravity aerators*, (2) *spray aerators*, (3) *diffused-air aerators*, dan (4) *mechanical aerators*. Pertimbangan desain utama untuk semua jenis aerator adalah menyediakan antar muka maksimum antara udara dan air dengan pengeluaran energi minimum. Perbandingan kinerja berbagai jenis aerator diberikan pada Tabel 2.1 dengan deskripsi singkat dari setiap jenis aerator.

Tabel 2. 2 Desain dan karakteristik operasional aerator

Aerator	Penyisihan	Dimensi
Aerator gravitasi: cascade	20-45 CO_2	Tinggi: 1-3 m Luas: 85-105 $m^2 /m^2 .s$ Kecepatan aliran: 0,3 m/s
Packing Tower	>95% VOC >90% CO_2	Diameter kolom maksimum: 3m Beban hidrolik: 2000 $m^3 /m^2 .hari$
Tray	>90% CO_2	Kecepatan: 0,8-1,5 $m^3 /m^2 .menit$

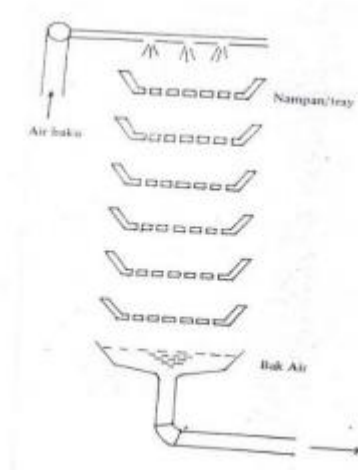
Aerator	Penyisihan	Dimensi
		Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ air Jarak rak (tray): 30-75 cm Luas: 50-160 m ² /m ³ .det
Aerator	Penyisihan	Dimensi
Spray aerator	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	Tinggi: 1,2 – 9 m Diameter nozzle: 2,5 – 4 cm Jarak nozzle: 0,6 – 3,6 m Debit nozzle: 5 – 10 L/s
Aerator berdifusi	80% VOCs	Luas Bak: 105-320 m ² /m ³ .det Tekanan semprotan: 70 kPa Waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m ³ /m ² air Tangki kedalaman: 2,7-4,5 m Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
Aerator mekanik	70-90% CO ₂	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2 – 4 m

Sumber: (Qasim et al., 2000)

Jenis-jenis metode aerasi dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

a. *Waterfall aerator* (aerator air terjun)

Pengolahan air aerasi dengan metoda Waterfall/Multiple aerator seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil.



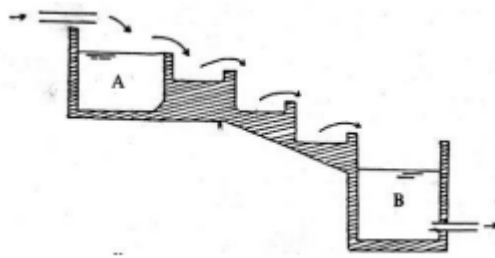
Gambar 2.1 Multiple Tray Aerator

Sumber: (Herdiana, n.d.)

Jenis aerator terdiri atas 4-8 tray dengan dasarnya penuh lobang lobang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang air dibagi rata melalui atas tray, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m/detik per m² 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 berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.

b. *Cascade aerator*

Pada dasarnya aerator ini terdiri atas 4-6 step/tangga, setiap step kira-kira ketinggian 30 cm dengan kapasitas kira-kira ketebalan 0,01 16 m³ /det per m². Untuk menghilangkan gerak putaran (*turbulence*) guna menaikkan efisiensi aerasi, hambatan sering di tepi peralatan pada setiap step. Dibanding dengan *tray aerators*, ruang yang diperlukan bagi *cascade aerators* agak lebih besar tetapi total kehilangan tekanan lebih rendah. Keuntungan lain adalah tidak diperlukan pemeliharaan.



Gambar 2. 2 *Cascade Aerator*

Sumber: (Herdiana, n.d.)

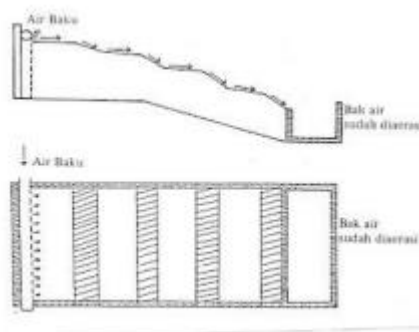
Keterangan:

A = Air baku

B = Air sudah diaerasi

c. *Submerged Cascade Aerator*

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

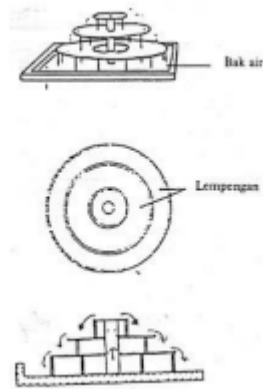


Gambar 2. 3 Aerasi Tangga Aerator

Sumber: (Herdiana, n.d.)

d. *Multiple Platform Aerator*

Memakai prinsip yang sama, lempengan-lempengan untuk menjatuhkan air guna mendapatkan kontak secara penuh udara terhadap air.

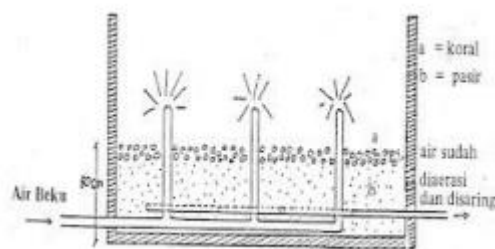


Gambar 2. 4 Multiple Platform Aerator

Sumber: (Herdiana, n.d.)

e. *Spray Aerator*

Terdiri atas nozzle penyemprot yang tidak bergerak (*Stationary nozzles*) dihubungkan dengan kisi lempengan yang mana air disemprotkan ke udara di sekeliling pada kecepatan 5-7 m /detik. *Spray aerator* sederhana diperlihatkan pada gambar, dengan pengeluaran air ke arah bawah melalui batang-batang pendek dari pipa yang panjangnya 25 cm dan diameter 15-20 mm. piringan melingkar ditempatkan beberapa cm di bawah setiap ujung pipa, sehingga bisa berbentuk selaput air tipis melingkar yang selanjutnya menyebar menjadi tetesan-tetesan yang halus. Nozzle untuk *spray aerator* bentuknya bermacam-macam, ada juga nozzle yang dapat berputar-putar.



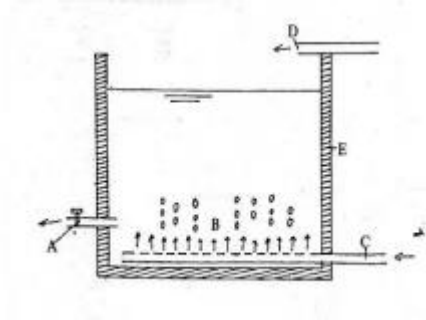
Gambar 2. 5 Spray Aerator

Sumber: (Herdiana, n.d.)

f. Aerator Gelembung Udara (*Bubble aerator*)

Jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi bubble (aerasi gelembung udara)

tidak banyak, tidak lebih dari 0,3 – 0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi



Gambar 2. 6 *Spray Aerator*

Sumber: (Herdiana, n.d.)

Keterangan :

A = Outlet

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = Inlet air baku

E = Bak air

g. *Multiple-Tray Aerator*

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

Multiple Tray Aerator harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang cukup. Jika unit ini ditempatkan dalam suatu bangunan dimana terdapat pencemaran

udara, maka efektivitas dan efisiensi dari unit akan berkurang, karena terjadi kontaminasi dari udara yang masuk dengan kandungan atau unsur-unsur tertentu yang ingin dihilangkan.

Aerasi adalah proses pengolahan air minum dengan injeksi oksigen melalui gelembung-gelembung udara yang terbentuk. Aerasi yang digunakan dalam perancangan kali ini yaitu Bubble Aerator (*Diffuser*). Berikut rumus -rumus yang diperlukan dalam perhitungan spray aerator:

1. Debit tiap bak (Q)

$$Q = \frac{\text{Debit air baku (Q)}}{\text{Jumlah bak}}$$

2. Volume bak aerasi (V)

$$V = Q \times t_d$$

3. Dimensi bak aerasi

Luas Bak Aerasi

$$A = \frac{V}{H \text{ total}}$$

Lebar Bak Aerasi

$$V = L \times W \times H$$

Panjang Bak Aerasi

$$L = 2W$$

4. Kedalaman H total

$$H \text{ total} = H + \text{Freeboard}$$

$$= H + (20\% \times H)$$

5. Jari – Jari Hidrolis

$$R = \frac{W \times H}{W + (2 \times H)}$$

6. Pipa Outlet

Luas Penampang Pipa Outlet

$$A = \frac{Q}{v}$$

Diameter Pipa Outlet

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

- Kebutuhan udara untuk menghilangkan TDS dan Kekeruhan
 - Beban TDS

$$\text{Beban TDS} = Q \times \text{total TDS yang disisihkan}$$
 - Beban Kekeruhan

$$\text{Beban Kekeruhan} = Q \times \text{total Kekeruhan yang disisihkan}$$
 - Beban BOD

$$\text{Beban BOD} = Q \times \text{total BOD yang disisihkan}$$
 - Beban COD

$$\text{Beban COD} = Q \times \text{total BOD yang disisihkan}$$
 - Beban Total

$$\text{Total Beban} = \text{Beban TDS} + \text{Beban Kekeruhan} + \text{Beban BOD} + \text{Beban COD}$$
 - Jumlah Kebutuhan Udara Teoritis

$$\text{Jumlah kebutuhan udara teoritis} = \text{Beban total} \times \text{Faktor keamanan}$$
 - Kebutuhan udara

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{\text{Kebutuhan udara teoritis}}{\text{Berat udara} \times \text{jumlah oksigen}}$$
 - Kebutuhan Udara Sebenarnya

$$\text{Kebutuhan udara sebenarnya} = \frac{\text{Kebutuhan udara}}{\text{Efisiensi difuser}}$$
 - Cek Rasio Volume Udara / Volume Limbah

$$\text{Cek Rasio} = \frac{V \text{ udara}}{V \text{ air limbah}}$$

7. Luas Tiap *Plate Disk*

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

8. Jumlah Plate yang dibutuhkan

$$N = \frac{A}{\text{Service Area}}$$

9. Jarak Horizontal Antar Disk (Sh)

$$\text{Sh} = \frac{\text{Panjang} - (\text{Jumlah disc} \times \text{diameter})}{\text{Jumlah lubang} + 1}$$

10. Jarak Vertikal Antar Disk (Sv)

$$Sv = \frac{\text{Lebar} - (\text{Jumlah disc} \times \text{diameter})}{\text{Jumlah lubang} + 1}$$

11. Cek Volume (V check)

$$V = L \times W \times H_{\text{total}}$$

12. Cek waktu detensi (td check)

$$Td = \frac{V}{Q} = \frac{20,808 \text{ m}^3}{0,013 \text{ m}^3/\text{s}}$$

2.2.3 Bak Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi merupakan proses berkelanjutan yang digunakan untuk memperbesar ukuran koloid. Koloid pada umumnya memiliki muatan listrik negatif, muatan negatif mengakibatkan terbentuknya lapisan stern layer dan diffuse layer yang sebagian besar bermuatan positif. Adanya lapisan tersebut mengakibatkan terjadinya gaya tolak menolak antar partikel koloid (Hendrasarie, 2024). Proses koagulasi dilakukan dengan melakukan destabilisasi partikel koloid dengan melakukan pengadukan cepat yang diiringi oleh pembubuhan bahan kimia (koagulan). Koagulasi mengakibatkan destabilisasi partikel koloid yang tadinya stabil menjadi ion positif dan negatif, ion yang tidak stabil kemudian mengalami pembentukan ion ikatan antara ion positif dan negatif begitu pula sebaliknya yang mengakibatkan terbentuknya inti flok (presipitasi) (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012). Pada tabel 2.3 dapat dilihat berbagai macam koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air.

Tabel 2. 3 Jenis-Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium Sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot X \text{H}_2\text{O}$ $X = 14,16,18$	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
Sodium	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Bubuk	Basa	6,0-7,8

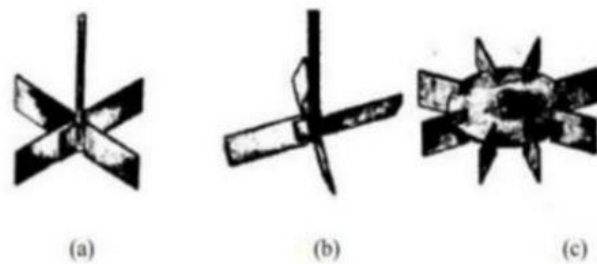
aluminate				
Polyaluminum Chloride, PAC	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	Kristal halus	Asam	4-9
Ferri klorida	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Bongkah, cairan	Asam	4-9
Ferro Sulfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Kristal halus	Asam	>8,5

Sumber: (Sugiarto, 2006)

Proses dilanjutkan dengan flokulasi, pada proses ini flok yang terbentuk akan mengalami penggabungan inti flok yang menjadi flok yang lebih besar dan dapat mengendap. Pembentukan flok yang lebih besar terjadi akibat adanya proses pengadukan lambat yang mengakibatkan terjadinya tumbukan antar inti flok (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).

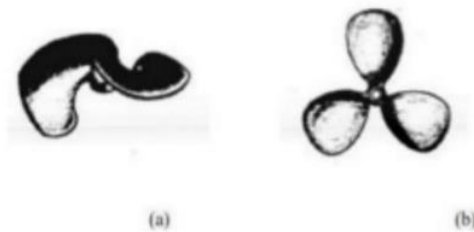
Koagulasi-flokulasi memiliki 2 jenis pengadukan berdasarkan kecepatannya, yakni pengadukan lambat dan pengadukan cepat. Pengadukan cepat dilakukan dilakukan untuk menghasilkan turbulensi air. Ali (2012) menyebutkan pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan 300 sampai 1000 detik⁻¹) selama 2-60 detik atau memiliki nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Pengadukan lambat dalam pengolahan air dilakukan 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) selama 10 hingga 60 menit atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap 21 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 (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi., 2012).

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



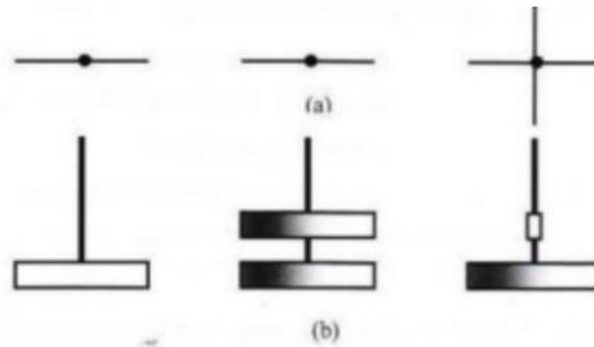
Gambar 2. 7 Tipe Turbin: (a) Paddle; (b) Propeller; (c) Turbin

Sumber: (Qasim, 2000)



Gambar 2. 8 Tipe Popetter: (a) 2 blade; (b) 3 blade

Sumber: (Qasim, 2000)



Gambar 2. 9 Tipe Paddle: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2012 hal.112)

Tabel 2. 4 Kriteria Impeller

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

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:185)

Tabel 2. 5 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (detik⁻¹)
20	1000
30	900

40	790
≥ 50	700

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:184)

Tabel 2. 6 Konstanta KL dan KT untuk Tangki Berserat

Jenis Impeller	KL	KT
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2,3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 blades at 45°	70,0	1,65
Shrouded turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddles), $D_i/W_i=4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i=8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i=6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i=8$	71,0	3,82

Sumber: (Reynolds & Richards, 1996:188)

Adapun perhitungan yang digunakan dalam menghitung dimensi bak koagulasi dan flokulasi adalah sebagai berikut :

A. Bak Pembubuh Koagulasi

- Bak Pembubuh

- Kebutuhan Alum Harian (mg/hari)
= Dosis Alum Optimum \times Debit
- Kadar Kebutuhan Koagulan (kg/hari)
= $\frac{100\%}{\text{Kadar alum dalam larutan}} \times \text{Kebutuhan alum harian}$
- Volume koagulan (L/hari) = $\frac{\text{Kadar kebutuhan koagulan}}{\text{Massa jenis alum}}$
- Volume pelarut (L/hari)
= $\frac{100\% - \text{Kadar air dalam larutan}}{\text{Kadar air dalam larutan}} \times \text{Kadar kebutuhan koagulan}$
- Volume bak total (m³/hari) = Volume koagulan + Volume larutan
- Daya Pengadukkan = $G^2 \times \mu \times \text{Volume bak total}$

Keterangan:

G = Gradien kecepatan (s)

Π = viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak (m³)

- Impeller

- Jarak paddle dengan dasar = $0.5 \times \text{Diameter}$
- Lebar paddle (Wi) = $\frac{1}{8} \times \text{Diameter}$
- Cek lebar paddle (Cek Wi) = $\frac{\text{Lebar paddle}}{\text{Diameter}}$
- Cek NRe = $\frac{\rho \times v \times Di^2}{\mu}$

Keterangan :

Di = Diameter paddle (m)

n = kecepatan putaran paddle (rps)

ρ = massa jenis air (995,7 kg/m³ (30°C))

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Pipa Outlet Bak Koagulasi

- Q Injek = $\frac{\text{Volume bak total}}{T_d}$
- A Pipa = $\frac{Q \text{ Injek}}{\text{Kecepatan outlet}}$

- Diameter pipa outlet $= \left(\frac{4 \times A \text{ Pipa}}{\pi}\right)^{0.5}$
- Cek kecepatan $= \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$

B. Bak Koagulasi

- Dimensi Bak

- Volume bak = Debit \times Td
- Total Volume = Volume bak + Volume bak pembubuh
- Tinggi Total = H + (20% \times H)
- Luas Permukaan $= \frac{\text{Total Volume}}{H \text{ tot}}$
- Diameter bak (D) $= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$
- Volume bak $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$
- Daya Pengadukkan = $G^2 \times \mu \times$ Volume bak total

Keterangan:

G = Gradien kecepatan (s)

Π = viskositas absolut (N.s/m²)

V = Volume bak (m³)

- Impeller

- Jarak paddle dengan dasar = 0.5 \times Diameter
- Lebar paddle (Wi) $= \frac{1}{8} \times$ Diameter
- Cek lebar paddle (Cek Wi) $= \frac{\text{Lebar paddle}}{\text{Diameter}}$
- Cek NRe $= \frac{\rho \times v \times Di^2}{\mu}$

Keterangan :

Di = Diameter paddle (m)

n = kecepatan putaran paddle (rps)

ρ = massa jenis air (995,7 kg/m³ (30°C))

μ = viskositas absolut (N.s/m²)

- Pipa Outlet Bak Koagulasi

- A Pipa $= \frac{Q}{\text{Kecepatan outlet}}$

- Diameter pipa outlet $= \left(\frac{4 \times A \text{ Pipa}}{\pi} \right)^{0.5}$
- Cek kecepatan $= \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$

C. Bak Flokulasi

- Dimensi Bak

- Debit tiap bak $= \frac{Q}{\text{Jumlah bak}}$
- Waktu detensi total $= \Sigma Td \text{ kompartemen}$
- Volume bak total (V) $= Q \times td \text{ total}$
- Dimensi Total
 $V = P \times L \times H$
- Kedalaman bak flokulasi
 $H \text{ total} = H + Fb$
- Dimensi tiap kompartemen
 $\text{Lebar} = \frac{\text{Lebar bak}}{\text{Jumlah kompartemen}}$
- Kecepatan partikel $= \frac{g \times (Sg - 1) \times D^2}{18 \times v}$

Keterangan :

- g = Gravitasi (9.81 m/s)
- Sg = *Specific Gravity Sludge* (2.6 m/s)
- D = Diameter (m)
- v = Viskositas kinematis

- Perhitungan Kompartemen

- Jumlah baffle (n) $= \left[\left(\frac{2 \times \mu \times td}{\rho (1.44 + f)} \right) \left(\frac{H \times P \times G}{Q} \right)^2 \right]^{1/3}$

Keterangan :

- μ = Viskositas Absolut (N.s/m²)
- ρ = Massa jenis air (kg/m³)
- f = Freeboard
- H = Kedalaman (m)
- P = Panjang (m)
- G = Gradient

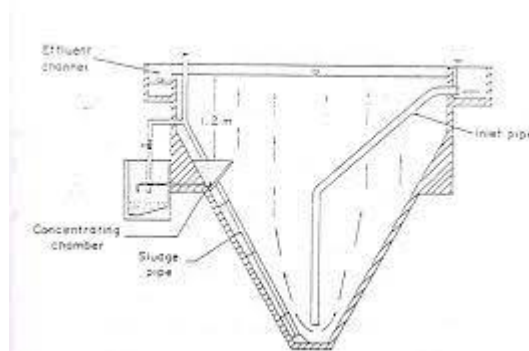
- Jarak antar sekat $= \frac{\text{Panjang}}{\text{Jumlah baffle}}$
 - Headloss kompartemen $= \frac{\mu \times Td}{\rho \times g} \times G^2$
 - Jari-jari hidrolis $= \frac{w \times H}{w + (2 \times H)}$
 - Cek Nre $= \frac{vp \times R^2 \times \rho}{\mu}$ (laminer < 2000)
 - Slope Bak $= \frac{\text{Total Head Loss}}{\text{Panjang Bak}}$
- Perhitungan Pipa Outlet
- Diameter Pipa Outlet $= \left(\frac{\text{Debit tiap bak}}{(v \times 1/4 \times 3.14)} \right)^{0.5}$
 - Cek Kecepatan $= \frac{\text{Debit tiap bak}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (\text{Diameter Pipa Outlet})^2}$
 - Jari-jari hidrolis $= \frac{w \times H}{w + (2 \times H)} = \frac{0,3 \times 3}{0,3 + (2 \times 3)} = 0,14$
 - Cek Nre $= \frac{vp \times R^2 \times \rho}{\mu}$ (laminer < 2000)
 - Cek Nfr $= \frac{V^2}{g \times R}$ (Nfr > 10⁻⁵)

2.2.4 Sedimentasi

Unit sedimentasi primer bertujuan untuk menghapus partikel padat yang berada dalam suspensi. Partikel tertentu seperti sisa limbah kertas, tekstil, pulp, atau limbah domestik dapat menggumpal saat bergerak menuju dasar tangki sedimentasi, yang berdampak pada laju pengendapan. Fungsi utama dari sedimentasi primer adalah untuk menghilangkan padatan yang dapat mengendap dan material yang mudah mengapung, sehingga mengurangi jumlah padatan tersuspensi dalam air limbah. Proses sedimentasi primer berfungsi sebagai langkah awal dalam pengolahan lanjut air limbah. Desain dan operasional yang efektif dari tangki sedimentasi primer seharusnya mampu menghilangkan antara 50 hingga 70 persen padatan tersuspensi dan 25 hingga 40 persen BOD (Reynolds & Richards, 1996).

Selain itu, tangki sedimentasi juga digunakan sebagai tangki penampung, yang dirancang untuk memberikan waktu tinggal sedang (10 hingga 30 menit) bagi limpasan air limbah. Kemampuan bak sedimentasi dalam menghilangkan

parameter BOD dan TSS dipengaruhi oleh: (1) jenis aliran yang masuk ke dalam tangki sedimentasi; (2) ukuran, bentuk, dan konsentrasi partikel; (3) viskositas air limbah saat masuk ke dalam bak sedimentasi; (4) suhu air limbah dan kondisi lingkungan (Metcalf & Eddy et al., 2007). Unit pengolahan ini memiliki efisiensi penghilangan berkisar antara 50-70% untuk TSS (Qasim & Zhu, 2017) dan 25-40% untuk BOD5 (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 10 Unit Sedimentasi Lingkaran

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Terdapat 3 (tiga) unit pengendap/sedimentasi yang biasa digunakan dalam pengolahan air, antara lain:

1. Horizontal flow (aliran horizontal), umumnya dalam bentuk persegi panjang
2. Radial flow (aliran radial), yaitu bak sirkular, air mengalir dari tengah menuju pinggir
3. Upward flow (aliran ke atas), yaitu aliran dari bawah ke atas, biasanya dalam bak berbentuk kerucut yang menghadap ke atas.

Ada beberapa elemen utama dan tambahan yang perlu diperhatikan dalam merencanakan bak pengendapan pertama. Elemen tambahan yang harus diperhitungkan dalam perencanaan meliputi: (a.) Skimmer, yang berfungsi menyaring minyak dan lemak yang berada di permukaan. Terdapat saluran khusus untuk menampung minyak dan lemak tersebut sebelum dibuang, (b.) Scrapper sludge, yang berfungsi untuk mengumpulkan lumpur dari dasar bak pengendapan menuju tempat pembuangan baik dengan menggunakan pompa maupun secara manual menggunakan gravitasi (jika memungkinkan), (c.) Pompa lumpur, yang

berfungsi untuk memindahkan lumpur ke proses pengolahan lumpur, (d.) Weir atau pelimpah, berfungsi untuk mengalirkan air yang berada di permukaan atau kelebihan air yang telah melalui proses sedimentasi. Perhitungan untuk bak sedimentasi primer dilakukan sama seperti yang dilakukan pada bak sedimentasi awal. Kriteria desain perencanaan untuk bak sedimentasi yang harus diikuti sesuai dengan standar internasional antara lain (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018) :

Tabel 2. 7 Kriteria Perencanaan Unit Sedimentasi

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
Overflow rate: Debit rata-rata Debit Puncak	QR	30-50 70-130	m ³ /m ² .hari	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Detensi	td	1-2 1,5-2,5	Jam	
Beban Permukaan	-	124-496	m ³ /m ² .hari	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Dimensi Bak Sedimentasi				
Bentuk Kotak (Rectangular)				(Qasim & Zhu, 2017)
Panjang	p	10-100	m	
Lebar	l	6-24	m	
Kedalaman	h	2.5-5	m	
Rasio P dan L	-	1-7,5		
Rasio P dan T	-	4,2-25		
Bentuk Lingkaran (Circular)				

Diameter	d	3-60	m	
Kedalaman	h	3-6	m	
Penyisihan TSS	-	50-70	%	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Penyisihan BOD	-	50-80	%	
Kemiringan dasar	Slope (S)	1-2	%	(Qasim & Zhu, 2017)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2018 Halaman 41)

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak pengendap antara lain :

A. Perhitungan Dimensi

- Luas Permukaan $= \frac{\text{Debit air baku } (\frac{m^3}{\text{hari}})}{\text{Overflow Rate } (\frac{m^3}{\text{hari.m}^2})}$
- Kedalaman $= \frac{\text{Overflow rate} \times Td}{24 \text{ jam}}$
- Kecepatan (V_o) $= \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Lebar} \times \text{Kedalaman}}$
- Efisiensi penyisihan (%) $= \frac{(y_o - y)}{y} \times 100\%$
- Kecepatan Pengendapan (V_s) $= \frac{n \times V_o}{(1 - \frac{y}{y_o})^{\frac{1}{2}} - 1}$

Keterangan :

n = Grafik rate performance

V_o = Kecepatan awal (m/s)

y = Kekerusuhan outlet (mg/L)

y_o = Kekerusuhan inlet (mg/L)

- Jari-jari Hidrolis $= \frac{\text{Lebar} \times \text{Kedalaman}}{(2 \times \text{Kedalaman}) + \text{lebar}}$
- Cek Nre $= \frac{\rho \times v \times R}{\mu}$ (laminer, <2000)
- Cek Nfr $= \frac{V^2}{g \times R}$ (Nfr > 10^{-5})

B. Perhitungan Plate Settler

- Jumlah Plate $= \frac{P}{\left(\frac{W}{\sin \alpha}\right)} + 1$
- Q Plate $= \frac{Q}{n-1}$
- A Plate $= \frac{\text{Jarak antar plate}}{\sin \alpha} \times L$

Keterangan :

P = Panjang (m)

W = Jarak antar plate (m)

n = Jumlah plate

- Kecepatan (Va) $= \frac{Q \text{ plate}}{A \text{ plate} \times \sin \alpha}$
- Vs Cek $= \frac{\text{Debit air baku}}{\text{Kedalaman} \times 2 \times Td}$ (10-18 Vs)

C. Perhitungan Ruang Lumpur

- Konsentrasi effluent TSS $= (100\% - 90\%) \times \text{Konsentrasi TSS}$
 - TSS Teremoval $= 90\% \times \text{Konsentrasi TSS}$
 - Berat lumpur tiap hari (Ws) $= Q \times \text{TSS Teremoval}$
 - Berat air (Ww) $= \frac{95\%}{5\%} \times Ws$
 - Berat jenis lumpur $= (\rho \text{ lumpur} \times 5\%) + (\rho \text{ air} \times 95\%)$
 - Ruang Lumpur
- Volume ruang lumpur $= \frac{\text{Berat lumpur (Ws)} + \text{Berat air (Ww)}}{\text{Berat jenis lumpur}} \times$

tp

2.2.5 Filtrasi

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

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

Beberapa faktor yang berkontribusi di dalam proses removal filter adalah:

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

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

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

Slow sand filter termasuk dalam jenis unit filtrasi pemrosesan air tanpa memanfaatkan bahan kimia, tetapi keefektifannya telah diuji dalam mengurangi bakteri terutama E-coli dalam air (Pacini et al., 2005). Slow sand adalah instalasi pengolahan air yang sederhana, terjangkau dan efektif dalam menghilangkan kekeruhan. Diatas permukaan pasir ada lapisan tipis lumpur yang menutupi permukaan pasir dan terdapat sebuah material organik yaitu schmutzdecke atau

lapisan filter yang akan dilalui air sebelum melewati media. Lapisan schmutzdecke memainkan peran penting dalam unit filter lambat. Dalam proses terbentuknya schmutzdecke yang Kematangan membutuhkan waktu antara 2-3 minggu, ini dipengaruhi oleh suhu serta komponen biologis (mikroorganisme dan bahan) organik) dalam air mentah. Di lapisan schmutzdecke ini terdapat bahan bakar biomassa. Fungsi utama biomassa dalam pasir lambat filter berfungsi untuk menghapus mikroorganisme patogen dan virus, serta untuk menguraikan zat organik. Efektivitas schmutzdecke tersebut bergantung terhadap makanan yang ada dalam proses pengolahan yang terdapat bahan organik dalam air baku, kadar oksigen dan juga suhu air yang memadai.

Saringan pasir lambat adalah salah satu cara dalam proses pengolahan Air yang dipakai sudah lama. Keefektifan pemrosesan air dengan memanfaatkan unit saringan pasir lambat ini didukung oleh proses biologi yang terjadi karena adanya jumlah bakteri dalam saringan pasir ini. Mikroorganisme-mikroorganisme yang tersimpan di lapisan schmutzdecke yang terletak di atas media pasir pada filter pasir lambat memiliki potensi yang besar dalam pengurangan kadar senyawa organik melalui mekanisme bioadsorpsi.

Kriteria desain unit slow sand filter dari beberapa penelitian yang ada memiliki hasil yang berbeda-beda. Menurut Darsono dan Teguh (2002) beberapa kriteria desain unit slow sand filter yaitu sebagai berikut :

- a. Kecepatan filtrasi 0,1 meter/jam – 0,4 meter/jam
- b. Tinggi permukaan air yang diukur dari media pasir 1 meter – 1,5 meter tujuannya untuk menciptakan head penyaringan yang cukup
- c. Diameter efektif untuk media pasir antara 0,15 mm – 0,36 mm
- d. Kerikil penyaring dipilih dengan bahan batu kerikil yang mampu menghalangi masuknya pasir ke dalam rongga penampungan air.

Menurut Huisman dan Wood, (1974) unit slow sand filter menggunakan media pasir berdiameter antara 0,15-0,35 mm, kedalaman filter antara 0,3-1,5 m tujuannya untuk menjaga kualitas air olahan dan menghindari terjadinya headloss yang berlebih. Kecepatan filtrasi unit slow sand filter berkisar antara 0,1 m/jam – 0,4 m/jam. Kedalaman air diatas pasir atau yang sering disebut sebagai supernatant

berkisar antara 1,0 m -1,5 m tujuannya supaya tersedia cukup tekanan untuk mengatasi kehilangan tekanan akibat filtrasi dan untuk mencegah terjadinya penangkapan udara kedalam lapisan pasir. Kedalaman media pasir pada unit slow sand filter berkisar antara 1,0 m – 1,4 m (Hendricks et al., 2006).

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung unit saringan pasir lambat yaitu sebagai berikut :

A. Dimensi Bak Filter

- Luas tiap unit filtrasi (Af) = $\frac{Q}{v}$
- Dimensi bak (L:W = 1:2)
 $A = L \times W$

B. Kehilangan Tekanan

- $N_{RE} = \frac{\phi \times \rho \text{ air} \times d \times \text{Kec. filtrasi}}{\mu}$
- $Cd = \frac{24}{NRE} + \frac{3}{\sqrt{NRE}} + 0,34$
- $Hf1 = \frac{1,067}{\phi} \times \frac{D}{g} \times \frac{Va^2}{\epsilon^4} \times \frac{Cd^2}{d}$

C. Perhitungan Pipa

Pipa Manifold

- Diameter pipa manifold

$$D = \sqrt{\frac{Qf}{v \times \frac{1}{4} \times \pi}}$$

Pipa Lateral

- Diameter pipa lateral (Di) = 1/3 x D manifold
- Luas penampang pipa lateral

$$A_{Lateral} = \frac{1}{4} \times \pi \times Di^2$$

- Debit pipa lateral = v x A
- Jumlah pipa lateral = $\frac{\text{Debit tiap bak}}{\text{Debit tiap pipa lateral}}$

- Panjang pipa lateral = $\frac{L \text{ bak} - D \text{ manifold} (2 \times D \text{ lateral})}{2}$

Orifice

- Luas lubang orifice

$$A_{\text{orifice}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

- Jumlah lubang tiap filter

$$n_{\text{orifice}} = \frac{0,0025 \times Af}{A_{\text{orifice}}}$$

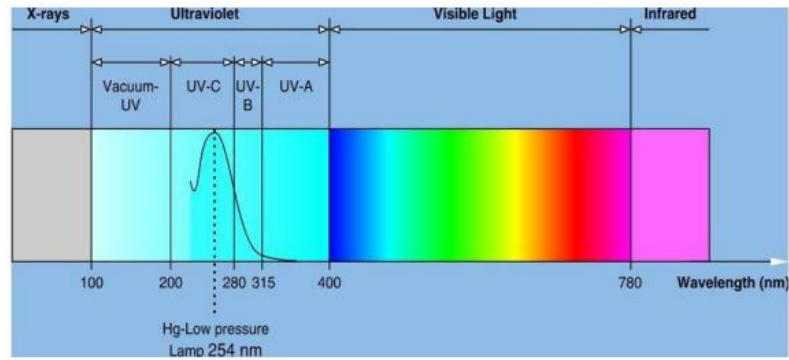
- Jumlah orifice tiap lateral (n) = $\frac{n_{\text{orifice}}}{n_{\text{lateral}}}$

2.2.6 *Ultraviolet Disinfection*

Radiasi UV dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas air minum. Sekarang ini, Desinfeksi merupakan tujuan utama penggunaan iradiasi UV dalam pengolahan air. Metode teknis ini diperkenalkan oleh penyedia air minum pada awal abad ke-20. Pengaruh bakterisida dari radiasi sinar matahari pertama kali diungkapkan oleh Downes dan Blunt. Namun, bagian UV dari cahaya matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya terbatas pada panjang gelombang yang melebihi 290 nm dikenal sebagai “cahaya matahari Boston” “Pada hari yang mendung,” memiliki intensitas total 340 W/m². Akan tetapi, pencahayaan langsung yang tergantung pada tinggi matahari dapat bervariasi antara 2 hingga 100 kali. Pada 30°, total intensitas Sekitar 50% lebih tinggi di daerah pegunungan jika dibandingkan dengan dataran rendah di permukaan laut. Selain itu, hanya sedikit kurang dari 10% dari keseluruhan intensitas sinar matahari yang tiba Permukaan bumi menghasilkan sinar UV, dengan sedikit radiasi aktif untuk sterilisasi air yang ada. dari proporsi ini. Oleh sebab itu, desinfeksi UV pada hakikatnya merupakan sebuah proses teknologi untuk dipakai dalam pengolahan air (Willy, 2002).

Tindakan pembasmian kuman dari UV sebagian besar disebabkan oleh sinar UV-B dan UV-C. Efek sinar UV-A sangat minim dibandingkan dengan sinar UV-B dan UV-C. Meskipun cahaya dalam kisaran UV vakum mampu memberikan tindakan pembasmian kuman, namun penggunaannya tidak praktis karena disipasi yang cepat dalam air pada jarak yang sangat pendek.

Gambar 2. 11 *Electromagnetic spectrum*



Sumber : Water Corporation, 2016

Aksi pembasmian kuman mencapai maksimum pada atau mendekati 260 nm untuk sebagian besar mikroorganisme, sebelum turun ke nol di dekat 300 nm. Minimum lokal terjadi sekitar 230 nm. Sementara aksi pembasmian kuman yang paling efektif terjadi di sekitar 260 nm, saat ini tidak ada cara yang efektif untuk menghasilkan sinar UV pada panjang gelombang ini. Lampu LP dan LPHO menghasilkan sinar UV pada 254 nm, dan ini telah menjadi standar industri (Water Corporation, 2016).

Transmisi UV memiliki dampak langsung pada pemberian dosis UV dan oleh karena itu penting agar karakteristik air dinilai dengan benar. Desain UVT yang terlalu rendah secara konservatif dapat mengakibatkan desain yang berlebihan dan meningkatkan biaya modal, biaya energi, dan biaya perawatan, sedangkan nilai yang terlalu tinggi secara optimis dapat mengakibatkan dosis yang kurang dan sering terjadi kegagalan. Untuk tujuan perencanaan, penting untuk menguji berbagai sampel air untuk absorbansi UV pada 254 nm. UVT biasanya diukur menggunakan spektrofotometer. Penting untuk menentukan nilai UVT desain dan kisaran penuh UVT yang diharapkan selama operasi. Mungkin berguna untuk mengembangkan matriks aliran dan kondisi UVT. Beberapa produsen UV memerlukan informasi ini untuk menentukan penurunan daya yang diperlukan.

Zat-zat berikut ini memiliki kecenderungan tinggi untuk menyerap sinar UV dan dapat menghasilkan penurunan UVT yang substansial:

- Asam humat dan asam fulvat;
- Ganggang;
- Minyak dan lemak;

- Kekeruhan;
- Besi; dan
- Mangan.

Respons mikroba adalah ukuran inaktivasi yang dicapai, yang sangat bervariasi dari satu spesies mikroorganisme ke spesies lainnya. Respons mikroba ditentukan dengan menyinari sampel air yang mengandung mikroorganisme uji pada berbagai dosis UV, dan mengukur konsentrasi mikroorganisme sebelum dan sesudah paparan. Pada setiap dosis, inaktivasi ditentukan dari perbedaan antara konsentrasi mikroorganisme sebelum dan sesudah paparan (Water Corporation, 2016)

Menurut Environmental Protection Agency of United State (EPA) dalam Technology Fact Sheet Ultraviolet Disinfection menyebutkan kelebihan dari penggunaan Ultraviolet Disinfection sebagai alternatif disinfektan pengolahan air yaitu :

1. UV Desinfektan efektif dalam menghilangkan virus, bakteri dan spora.
2. UV Desinfektan adalah proses fisika daripada kimiawi sehingga tidak perlu mempertimbangkan kandungan beracun, berbahaya, ataupun korosif pada zat kimia
3. Tidak ada residual yang membahayakan manusia ataupun kehidupan air.
4. UV Desinfektan mudah digunakan untuk operator
5. UV Desinfektan memiliki waktu kontak yang sangat sebentar daripada waktu desinfektan lain yaitu sekitar 20-30 sekon dengan menggunakan low pressure lamp.

Dalam perencanaannya digunakan perhitungan untuk menentukan dosis dan kebutuhan lampu dalam pengolahan air. Perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Debit/Lampu $= \left\{ \frac{UV\ Dose}{(10^{-2.438}) \times (Min\ Transmittance^{3.126}) \times 0.64} \right\}^{-\frac{1}{0.65}}$
- Kebutuhan Lampu $= \frac{Debit\ Air\ Baku}{Debit/Lampu}$

Keterangan :

UV Dose = Dosis Ultraviolet (mJ/cm²)

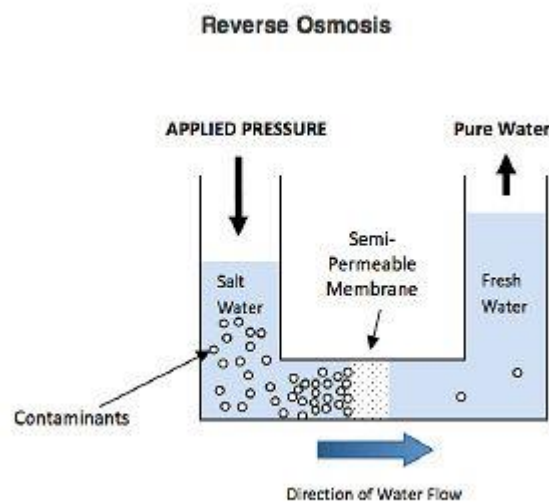
Transmittance = Transmisi UV nm

Sumber : Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse Edition 5th. Page 1404.

2.2.7 Reverse Osmosis

Reverse osmosis (RO) telah menjadi salah satu teknologi pengolahan air yang paling efektif dan banyak digunakan dalam beberapa dekade terakhir. Metode ini memanfaatkan prinsip osmosis terbalik untuk memisahkan kontaminan dari air dengan menggunakan tekanan tinggi dan membran semi-permeable (Greenlee et al., 2009).

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



Gambar 2. 12 Proses kerja unit reverse osmosis

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

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

- Anti-Scalant

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

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

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

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

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

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

2.2.8 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. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik.

Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Seringkali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya 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 :

1. Elevated Reservoar (Menara Reservoar)

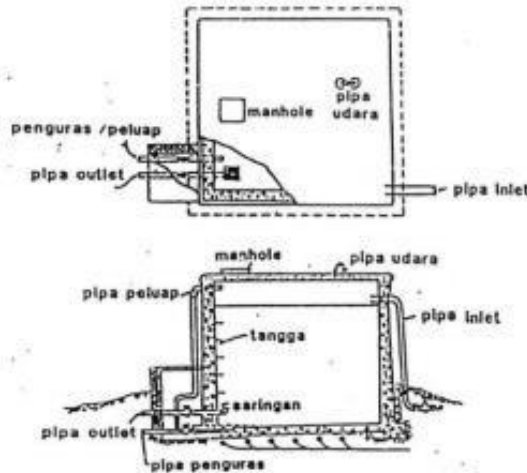
Menara reservoir dapat direncanakan dari kebutuhan air minum yang diperlukan untuk instalansi pengolahan air minum tersebut, dengan mengetahui jumlah dan pemakaian air untuk instalansi dapat direncanakan dimensi menara instalansi dan ketinggiannya. Reservoir ini digunakan bila head yang tersedia dengan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



Gambar 2. 13 Elevated Reservoir (Menara 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 (Reservoir Permukaan)

2.2.9 Unit Pengolahan Lumpur

Pengolahan air limbah menghasilkan lumpur yang memerlukan penanganan khusus agar tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan hidup. Lumpur (*sludge*) dalam pengelolaannya memiliki tantangan yang lebih kompleks, antara lain:

- Lumpur sebagian besar terdiri dari bahan-bahan yang dapat menimbulkan bau.
- Sebagian besar lumpur yang berasal dari proses pengolahan biologis mengandung bahan organik.

- Hanya sebagian kecil lumpur yang terdiri dari padatan, dengan kandungan padatan sekitar 0,25% hingga 12%.

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah:

- Mereduksi kadar lumpur
- Memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman.

a. Sludge Thickening

Gravity thickening merupakan unit pemekatan berupa tangki berbentuk lingkaran dengan dasar tangki berbentuk kerucut yang dilengkapi bak pengumpul lumpur atau scraper. Proses pemekatan pada unit ini terjadi melalui tiga proses, yang terdiri dari proses pertama yaitu proses pengendapan secara gravitasi, kedua proses pengendapan perlahan (*hindered settling*) dan yang ketiga proses pemadatan hasil dari endapan. Proses pengendapan secara gravitasi dimulai ketika partikel padatan yang memiliki densitas yang lebih besar dari cairan mengendap. Proses selanjutnya yaitu proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan densitas atau ukuran sedang terjadi akibat pembentukan flok-flok partikel, peningkatan konsentrasi padatan dalam proses pembentukan flok-flok partikel akan membantu terjadinya pengendapan, proses tersebut yang disebut sebagai pengendapan perlahan (*hindered settling*). Proses selanjutnya yang terjadi pada gravity thickening merupakan proses pemadatan endapan, di mana padatan yang telah mengendap pada dasar tangki akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari padatan di atasnya. Scraper secara perlahan mendorong hasil endapan menuju pipa pembuangan yang ada di dasar tangki. Waktu retensi padatan, perlu memperhatikan potensi pembentukan gas metan yang terjadi di dasar tangki. Supernatan yang dihasilkan selanjutnya akan mengalir keluar melalui v-notch weir yang terletak pada sisi atas tangki menuju clarifier. Unit thickening umumnya dilengkapi dengan skimmer yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menyisahkan scum yang terakumulasi pada permukaan tangki (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria desain untuk gravity thickening meliputi luas permukaan minimum berdasarkan beban hidraulik dan solid, kedalaman thickening, dan kemiringan dasar tangki. Sludge thickening pada umumnya didesain dengan memiliki kedalaman 3-

4 m dengan waktu detensi selama 24 jam. Laju beban hidraulik yang dapat diterima oleh thickening untuk memekatkan lumpur yang belum diolah (primary sludge) sebesar 16-32 m³/m².hari. Gravity thickening dapat dilengkapi dengan penutup dan alat pengukur bau karena unit ini berpotensi menimbulkan bau

b. Belt Filter Press

Sebagian besar jenis *Belt-Filter Press* bekerja dengan mengondisikan lumpur di saluran gravitasi untuk meningkatkan ketebalan lumpur. Pada tahap ini, banyak air dipisahkan dari lumpur melalui gaya gravitasi. Beberapa unit dilengkapi dengan sistem vakum untuk membantu pemisahan air dan mengurangi bau. Setelah melalui saluran gravitasi, lumpur diproses di bagian tekanan rendah, di mana lumpur diperas di antara kain sabuk berpori. Beberapa unit juga memiliki bagian tekanan tinggi, di mana lumpur ditekan lebih lanjut melalui penggulung untuk mengeluarkan lebih banyak air. Tahap akhir melibatkan pengeringan lumpur hingga membentuk cake lumpur, yang kemudian dipisahkan dari sabuk menggunakan scraper blade.

Sistem operasi belt-filter press meliputi beberapa komponen utama, seperti pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki flokulasi lumpur (flokulator), belt-filter press, conveyor untuk cake lumpur, serta sistem pendukung seperti kompresor dan pompa pencuci. Namun, beberapa unit tidak menggunakan tangki flokulasi lumpur. Kinerja belt-filter press dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk karakteristik lumpur, metode dan kondisi penggunaan bahan kimia, tekanan, konfigurasi mesin (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. Alat ini sangat sensitif terhadap variasi karakteristik lumpur, yang dapat memengaruhi efisiensi pengeringannya. Oleh karena itu, fasilitas yang dapat mencampur lumpur dengan karakteristik beragam harus dipertimbangkan dalam desain sistem. Namun, biaya operasional yang tinggi sering menjadi tantangan, sehingga upaya meningkatkan konsentrasi padatan lumpur dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pengeringan cake lumpur.

2.3 Persen Removal

Berdasarkan studi literatur yang telah kami kumpulkan, diperoleh

rangkuman %penyisihan untuk unit pengolahan beserta keseluruhan parameter dalam air limbah tahu sehingga dapat diolah dalam bangunan pengolahan air minum yang telah direncanakan. Berikut rangkuman %penyisihan air limbah tahu beserta sumber yang tertera.

Tabel 2. 8 Persen Removal

Unit Pengolahan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber Literatur
Aerasi	BOD	90%	James, A. Mueller. 2002. Aeration : Principle and Practice. Page 295
	COD	36-90%	Mirwan A, dkk. 2010. Penurunan Kadar BOD, COD, TSS, dan CO2 Air Sungai
Sedimentasi	Fosfat	50-90%	Macherzyński, et.al. 2023. Comparative efficiency of phosphorus removal from supernatants by coagulation process
	BOD	50-80%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Page 497
	TSS	80-90%	
	COD	<58%	Nascimento, C. O. C., Veit, M. T., Palácio, S. M., Gonçalves, G. C., and Fagundes-Klen, M. R. (2019). Combined Application of Coagulation/Flocculation/

			Sedimentation and Membrane Separation for the Treatment of Laundry Wastewater. International Journal of Chemical Engineering , 2019: 1–15.
	TDS	10-20%	Droste, Chapter 9, Water and Wastewater Treatment, Page. 224
Filtrasi	BOD	60%	(Laily, 2022. Pengolahan Air Sungai Menggunakan Slow Sand Filter Sistem Downflow dalam Menurunkan COD dan BOD
		68%	
Reverse Osmosis	TDS	90-98%	Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse Edition 5th. Page 1212

2.4 Profil Hidrolis

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

Profil Hidrolis IPAM adalah merupakan upaya penyajian secara grafis “hydrolic grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influent-effluent) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir

secara gravitasi, mengetahui kebutuhan pompa, memastikan tidak terjadi banjir atau luapan air akibat aliran balik.

Profil hidrolis adalah faktor yang penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil ini tergantung dari energi tekan/head tekan (dalam tinggi kolom air) yang tersedia bagi pengaliran. Head ini dapat disediakan oleh beda elevasi (tinggi ke rendah) sehingga air pun akan mengalir secara gravitasi. Jika tidak terdapat beda elevasi yang memadai, maka perlu diberikan head tambahan dari luar, yaitu dengan menggunakan pompa.

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis “hidrolik grade line” dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (influen-effluen) 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.