

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Air baku merupakan salah satu bahan dasar dalam proses pengolahan air minum yang diambil dari sumber-sumber yang memenuhi standar baku mutu. Sumber air yang biasa dipakai sebagai air baku yang nantinya akan digunakan untuk keperluan minum adalah air hujan, air tanah, air permukaan dan air laut. Di antara sumber-sumber tersebut yang paling banyak digunakan adalah air tanah dan air permukaan, sedangkan air laut jarang digunakan karena membutuhkan teknologi tinggi dan biaya yang mahal untuk mengolahnya. Air baku yang akan digunakan untuk proses pengolahan harus diperhatikan pula klasifikasi kelas badan air yang akan digunakan. Karena klasifikasi kelas yang berbeda juga mempengaruhi proses pengolahannya (Joleha & Suprayogi, 2019).

2.1.1 Sumber Air Baku

Sumber air baku yang akan digunakan sebagai air minum adalah air permukaan (air sungai). Air permukaan merupakan air yang berada di permukaan, contohnya sungai, rawa, danau dan mata air. Sebagai sumber air baku untuk air minum, maka air permukaan harus memenuhi kualitas oksigen yang terlarut, pH yang sesuai, kandungan zat padat, kandungan bakteri, kehadiran zat beracun, temperatur dan parameter lainnya. Air permukaan yang banyak digunakan untuk sumber air baku pengolahan air minum adalah air sungai dan air danau (Astono, 2011).

2.1.2 Pemilihan Sumber Air Baku

Menurut (DROSTE, 1997), dalam memilih sumber air baku harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Kualitas air baku
2. Volume (kuantitas) air baku
3. Kondisi iklim di daerah sumber air baku
4. Lokasi sumber air baku harus tetap, tidak mengalami kemungkinan pindah atau tertutup

5. Kontruksi intake yang memenuhi syarat dan kesulitan yang kecil
6. Kemungkinan perluasan intake di masa yang akan datang
7. Elevasi muka air sumber mencukupi
8. Kemungkinan timbulnya pencemar di masa yang akan datang
9. Fasilitas dan biaya operasi dan perawatan yang tersedia mencukupi

Pendekatan yang paling efektif untuk menentukan apakah suatu sumber air memenuhi persyaratan sebagai sumber air baku air minum adalah memilih sumber dengan kualitas yang baik. Kualitas dari sumber air baku haruslah diperhatikan karena berpotensi mengandung berbagai macam polutan.

2.1.3 Persyaratan dalam Penyediaan Air Baku

Dalam penyediaan air baku, tentu terdapat beberapa persyaratan yang harus terpenuhi dalam air baku tersebut:

1. Persyaratan Kualitas

Persyaratan kualitas menggambarkan mutu dari air baku air bersih.

Persyaratan tersebut adalah sebagai berikut (Agustina, 2007):

- a. Dalam persyaratan fisik, air bersih harus jernih, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan memiliki suhu sama dengan suhu udara atau kurang lebih $\pm 25^{\circ}\text{C}$.
- b. Dalam persyaratan kimia, air bersih tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa persyaratan antara lain adalah pH, total solid, zat organik, CO_2 agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chlorida (Cl), nitrit, flourida (F), dan logam berat.
- c. Dalam persyaratan biologis, air bersih tidak boleh mengandung kuman pathogen dan parasitik yang mengganggu kesehatan. Persyaratan biologis ditandai dengan tidak adanya bakteri *E. coli* dalam air.
- d. Dalam persyaratan radioaktif, bersih tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan radioaktif, misalnya sinar alfa, beta, dan gamma.

2. Persyaratan Kuantitas (Debit)

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Artinya air baku tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan air bersih. Kebutuhan air bersih masyarakat bervariasi, tergantung pada letak geografis, kebudayaan, tingkat ekonomi, dan skala perkotaan tempat tinggalnya (Agustina, 2007).

3. Persyaratan Kontinuitas

Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam sehari atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air tersedia. Akan tetapi, kondisi ideal tersebut hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktifitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam sehari, yaitu pada jam-jam aktivitas kehidupan sekitar pukul 06.00–18.00.

Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya dalam jumlah yang tidak ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan reservoir pelayanan dan fasilitas energi yang siap setiap saat. Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Kecepatan dalam pipa tidak boleh melebihi 0,6–1,2 m/s. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi (Agustina, 2007).

2.1.4 Karakteristik Air Baku

Dalam air baku yang digunakan yaitu air permukaan (air sungai) mempunyai beberapa karakteristik sebagai berikut:

A. Kekeruhan

Kekeruhan air sungai disebabkan oleh banyaknya material yang tersuspensi di dalam air sungai, seperti tanah, lumpur dan bahan-bahan organik lainnya. Sedimen tersuspensi dari daratan dibawa oleh aliran permukaan saat hujan turun (Johnson & Moldenhauer, 1969)

B. TSS (Total Suspended Solid)

Materi yang tersuspensi adalah materi yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pada molekul atau ion yang terlarut. Materi tersuspensi ini dapat digolongkan menjadi dua, yakni zat padat dan koloid. Zat padat tersuspensi dapat mengendap apabila keadaan air cukup tenang, ataupun mengapung apabila sangat ringan; materi ini pun dapat disaring. Koloid sebaliknya sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan (filter) air biasa. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2003).

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. Apabila jumlah materi tersuspensi ini banyak dan kemudian mengendap, maka pembentukan lumpur dapat sangat mengganggu dalam saluran, pendangkalan cepat terjadi, sehingga diperlukan pengerukan lumpur yang lebih sering. Apabila zat-zat ini sampai di muara sungai dan bereaksi dengan air yang asri, maka baik koloid maupun zat terlarut dapat mengendap di muara. Proses inilah yang menyebabkan terbentuknya delta-delta. Dapat dimengerti, bahwa pengaruhnya terhadap kesehatan pun menjadi tidak langsung (Effendi, 2003).

C. TDS (Total Dissolved Solid)

TDS adalah jumlah material yang terlarut di dalam air. Material ini dapat berupa karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik, senyawa koloid dan lain-lain (Howard Guy & Bartram Jamie, 2003). TDS dapat digunakan untuk

memperkirakan kualitas air minum, karena mewakili jumlah ion di dalam air.

D. BOD (Biological Oxygen Demand)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida dan air. Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol besar daripada kadar bahan organik. Sebaliknya, perairan rawa memiliki kadar bahan organik yang lebih besar daripada kadar bahan anorganik terlarut (Effendi, 2003).

E. Besi (Fe)

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

F. Mangan (Mn)

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

G. Amonia

Keberadaan amonia dalam air sungai yang melebihi ambang batas dapat mengganggu ekosistem perairan dan makhluk hidup lainnya. Amonia sangat beracun bagi hampir semua organisme. Amonia dapat bersifat racun pada manusia jika jumlah yang masuk tubuh melebihi jumlah yang dapat didetoksifikasi oleh tubuh. Pada manusia, resiko terbesar adalah dari penghirupan uap amonia yang berakibat beberapa efek diantaranya iritasi

pada kulit, mata dan saluran pernafasan. Pada tingkat yang sangat tinggi, penghirupan uap amonia sangat bersifat fatal (Mia & Mira, 2015).

H. Fecal Coliform

Fecal Coliform merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar 2 μm , diameter 0,7 μm , lebar 0,4-0,7 μm dan bersifat anaerob fakultatif membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang nyata (Lutfiando, 2021).

I. Total Coliform

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

J. pH (Derajat Keasaman)

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

Nama pH berasal dari potential of hydrogen. Secara matematis, pH didefinisikan dengan $\text{H} = -\log_{10}[\text{H}^+]$. Kebanyakan mikroorganisme dapat hidup pada pH antara 6-9. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi

dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit atau konduktivitas suatu larutan. Untuk pH yang sesuai standar baku mutu dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 tahun 2017 berkisar antara 6,5 - 8,5. Sedangkan pada air baku yang digunakan pH air sumur adalah 11.

2.1.5 Standar Kualitas Air Minum

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

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

2.2 Bangunan Pengolahan Air Minum

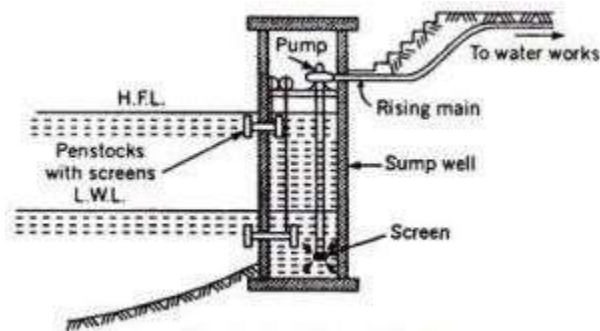
2.2.1 Intake dan Screen

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

- a. Penempatan bangunan penyadap (intake) harus aman terhadap polusi yang disebabkan pengaruh luar (pencemaran oleh manusia dan makhluk hidup lain);
- b. Penempatan bangunan pengambilan pada lokasi yang memudahkan dalam pelaksanaan dan aman terhadap daya dukung alam (terhadap longsor dan lain-lain);
- c. Konstruksi bangunan pengambilan harus aman terhadap banjir air sungai, terhadap gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa dan gaya angkat air (up- lift);
- d. Penempatan bangunan pengambilan diusahakan dapat menggunakan sistem gravitasi dalam pengoperasiannya;
- e. Dimensi bangunan pengabilan harus mempertimbangkan kebutuhan maksimum harian;
- f. Dimensi inlet dan outlet dan letaknya harus memperhitungkan fluktuasi ketinggian muka air;
- g. Pemilihan lokasi bangunan pengambilan harus memperhatikan karakteristik sumber air baku;
- h. Konstruksi bangunan pengambilan direncanakan dengan umur pakai (*lifetime*) minimal 25 tahun;
- i. Bahan/material konstruksi yang digunakan diusahakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007).

Pada perancangan bangunan air minum kali ini, kami menggunakan Indirect Intake (Bangunan Penyadap Tidak Langsung) yaitu jenis River Intake. Intake jenis ini menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul.

Intake ini juga lebih ekonomis untuk air sungai yang mempunyai perbedaan level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi



Gambar 2. 1 River Intake

(Sumber : <https://dreamcivil.com/intake-structure/>)

Selanjutnya pada bagian screen, kami menggunakan coarse screen. Screen sendiri bertujuan untuk menghilangkan sampah padat seperti kertas, plastik, atau kain yang dapat merusak dan menyumbat aliran air, pipa dan pompa. Pemilihan coarse screen dirasa sangat tepat karena dapat menghilangkan benda-benda berukuran besar dan mempunyai ukuran celah 6–150 mm. Rumus yang digunakan dalam perhitungan intake dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

1. Mencari debit tiap intake

$$Q = \frac{Q}{\text{jumlah bangunan}}$$

Keterangan :

Q : Debit (m³/s)

2. Menacari debit pipa sadap

$$Q = \frac{Q}{\text{jumlah pipa}}$$

3. Luas penampang pipa inlet

$$A_{HWL} = \frac{Q_{\text{pipa intake}}}{v_{HWL}}$$

$$A_{LWL} = \frac{Q_{\text{pipa intake}}}{v_{LWL}}$$

Keterangan :

v : Kecepatan (m/s)

Q : Debit (m³/s)

A : Luas Penampang (m²)

4. Diameter pipa inlet

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

5. Cek kecepatan aliran di dalam pipa

$$v = \frac{Q \text{ pipa intake}}{A \times HWL}$$

6. Headloss mayor

$$H_f = \left(\frac{Q \text{ pipa intake}}{0,2785 \times C \times D^{2,62}} \right)^{1,85} \times L$$

7. Headloss minor

$$H_f = k \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

8. Total headloss

$$H_f = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

9. Slope pipa inlet

Slope

$$H = \frac{\frac{1}{2} \times v^2}{g}$$

$$S = H_{\text{statis}} + H_f$$

Selanjutnya pada screening atau biasa disebut dengan bar screen digunakan dalam pengolahan air baik air bersih maupun air limbah untuk menghilangkan padatan kasar berupa potongan-potongan kayu, bahan-bahan dari plastik, kain, dan lain sebagainya yang berukuran >0,5 - 1cm sehingga tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (Metcalf & Eddy et al., 2007). Padatan yang disaring kemudian dibuang ke wadah yang terletak di belakang screen untuk disimpan, dikeringkan, dan diakumulasi/dipadatkan sebelum akhirnya dibuang. Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu: (1) merusak peralatan unit pengolahan 15 berikutnya; (2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan (3) mencemari saluran air.

Umumnya unit bar screen dibuat dari batangan besi/baja dengan lapisan anti karat yang dipasang pada kerangka yang melintang di saluran air dengan posisi miring ke arah masuknya air (inlet) dengan kemiringan 30° – 45° dari horizontal

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

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Parameter	<i>U.S. Customary Units</i>		Satuan Internasional	
	Metode Pembersihan		Metode Pembersihan	
	Manual	Mekanik	Manual	Mekanik
Ukuran batang				
Lebar	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	5 – 15	5 – 15
Kedalaman	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	23 – 38	25 – 38
Jarak antar batang	1,0 – 2,0	0,6 – 0,3	25 – 50	15 – 75
Parameter Lain				
Kemiringan thd vertikal (derajat°)	30 – 45	0 – 30	30 – 45	0 – 30
Kecepatan	1,0-2,0 ft/s	2,0-3,25ft/s	0,3-0,6m/s	0,6-1,0m/s
Headloss	6 in	5-24in	150mm	150-600mm

Sumber :Metcalf and Eddy, and Reuse 4th edition, 2004 Halaman 315-316

Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung screen pada bangunan pengolahan air limbah adalah sebagai berikut:

1. Jumlah Batang Kisi (n)

$$ws = (n+1) \times r + (n \times d)$$

Keterangan:

ws = lebar saluran (m)

n = jumlah batang

r = jarak antar kisi (m)

d = lebar kisi/bar (m)

2. Lebar bukaan screen (wc)

$$wc = ws - (n \times d)$$

Keterangan:

wc = lebar bukaan screen

n = jumlah batang

d = lebar kisi/bar (m)

3. Tinggi Kisi (γ)

$$\gamma = h + \text{freeboard}$$

Keterangan:

H = kedalaman/ketinggian kisi

4. Panjang Kisi (P)

$$P = \frac{\gamma}{\sin \alpha}$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

γ = tinggi kisi (m)

5. Jarak Kemiringan Kisi (x)

$$x = P \cdot \cos \alpha$$

Keterangan:

α = kemiringan kisi

P = panjang kisi (m)

6. Kecepatan Melalui Kisi (V_i)

$$V_i = \frac{Q}{wc \times h}$$

Keterangan:

Q = debit inlet air limbah

wc = lebar bukaan screen

h = tinggi muka air

7. Headloss pada Bar Screen

Saat non-clogging

$$H_f = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V_i^2 - V_i^2}{2 \times g} \right)$$

Saat clogging

$$H_f = \frac{1}{Cc} \times \left(\frac{V_i^2 - V_i^2}{2 \times g} \right)$$

2.2.2 Bak Pengumpul

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

1. Volume sumur (V)

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

Q = debit air

Td = waktu detensi

2. H efektif sumur (Hef)

$$H_{ef} = H_{\text{pipa}} + H_{\text{lumpur}}$$

3. Freeboard (Fb)

$$Fb = 20\% \times H_{ef}$$

4. H total

$$H_{tot} = H_{ef} + Fb$$

Keterangan:

Fb = freeboard

5. Luas penampang sumur (A)

$$A = \frac{\text{Volume}}{H_{total}}$$

6. Dimensi sumur pengumpul

$$A = L \times W$$

Keterangan:

A = luas bak

L = panjang bak

W = lebar bak

A. Rumus Pipa Penguras

1. Debit lumpur (Q_L)

$$Q_L = 1/4 \times Q \text{ sumur}$$

2. Luas Permukaan (A)

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

Keterangan:

v = kecepatan aliran

3. Diameter pipa penguras (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}}$$

4. Cek kecepatan (Vcek)

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

A = luas bak

Q = debit air

B. Rumus Pompa

1. Perhitungan Suction

- Headloss mayor

$$H_f = \frac{10,7 \times L \times (Q^{1,85})}{(C^{1,85} \times D^{4,87})}$$

Keterangan:

L = panjang suction

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor

$$H_f = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- $\sum H_f$ discharge

$$H_{fs} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

2. Perhitungan Discharge

- Headloss mayor

$$H_f = \frac{10,7 \times L \times (Q^{1,85})}{(C^{1,85} \times D^{4,87})}$$

Keterangan:

L = panjang discharge

Q = debit air

D = diameter pipa

- Headloss minor

$$H_f = n \times k \times \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan:

n = jumlah aksesoris

k = konstanta

v = kecepatan

g = gravitasi

- $\sum H_f$ discharge

$$H_{fs} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

3. Perhitungan head total

$$\text{Head total} = \text{Head statis} + \sum H_f \text{ suction} + \sum H_f \text{ discharge}$$

4. Perhitungan head pompa

$$\text{Head pompa} = \text{Head statis} + L \text{ suction} + L \text{ discharge}$$

C. Rumus Strainer

1. Luas efektif (A)

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran

2. Luas tiap sisi

$$A \text{ sisi} = \frac{A}{5}$$

Keterangan:

A = luas efektif

3. Luas total

$$A \text{ total} = 2 \times A \text{ sisi}$$

4. Dimensi

$$A = L \times W$$

Keterangan:

L = Panjang pipa

W = Lebar pipa

5. Luas lubang strainer

$$A_{LS} = 1/4 \times \pi \times d^2$$

6. Jumlah lubang strainer

$$n = \frac{A \text{ total}}{A \text{ lubang strainer}}$$

7. Jumlah lubang strainer tiap sisi

$$D \text{ sisi} = \frac{A \text{ total}}{5}$$

2.2.3 Prasedimentasi

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

- Zona Inlet: tempat memperhalus aliran transisi dari aliran influen ke aliran *steady uniform* di zona settling.

- Zona Pengendapan: tempat berlangsung nya proses pengendapan atau pemisahan partikel-partikel diskrit di dalam air buangan.
- Zona Lumpur: tempat menampung material yang diendapkan bersama lumpur endapan.
- Zona Outlet: tempat memperhalus aliran transisi dari zona settling ke aliran efluen serta mengatur debit efluen (Qasim et al., 2000)

Menurut Metcalf & Eddy (2003) terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan untuk mendesain unit prasedimentasi, antarlain: detention time, overflow rate, average flow, peak hourly flow, dan weir loading. Kriteria desain unit prasedimentasi dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Desain Tipikal Prasedimentasi

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

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

Rumus-rumus yang biasanya dipergunakan dalam perhitungan prasedimentasi yaitu:

A. Zona Pengendapan (*Settling Zone*)

1. Debit tiap unit

$$Q = \frac{\text{Debit air baku}}{\text{jumlah unit}}$$

2. Volume bak pengendapan

$$V = Q \times t_d$$

3. Luas permukaan

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

4. Dimensi bak pengendap

$$L = 2W$$

$$A = L \times W$$

$$= 2W \times W$$

$$= 2W^2$$

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$H_{\text{tot}} = H + \text{Freeboard}$$

5. Cek volume max

$$V_{\text{max}} = L \times W \times H_{\text{tot}}$$

6. Cek waktu detensi (t_d)

$$T_d \text{ cek} = \frac{V_{\text{max}}}{Q}$$

7. Kecepatan pengendapan partikel

$$\frac{V_s}{Q/A} = \text{nilai grafik}$$

8. Diameter partikel

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times v}{g (S_s - 1)}}$$

9. Jari jari hidrolis

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

10. Massa jenis solid (ρ_s)

$$S_g = \frac{\rho_s}{\rho}$$

11. Kecepatan horizontal

$$V_h = \frac{Q}{W \times H}$$

12. Cek bilangan Reynold

$$N_{RE} = \frac{\rho \times v \times L}{\mu}$$

13. Cek bilangan Froude

$$N_{FR} = \frac{v_h}{\sqrt{g \times H}}$$

14. Kecepatan penggerusan

$$V_{SC} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g \times (sg-1) \times NFR}{f}}$$

15. Kemiringan dasar bak

$$S = 1\% \times L$$

B. Zona Inlet

1. Debit tiap unit

$$Q = \frac{\text{Debit air baku}}{\text{jumlah unit}}$$

2. Luas permukaan

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

3. Dimensi saluran

$$A = W \times H$$

$$= W^2$$

$$W = \sqrt{A}$$

$$H_{\text{tot}} = H + F_b$$

4. Cek kecepatan

$$V_{\text{cek}} = \frac{Q}{A}$$

5. Cek bilangan Reynold

$$N_{RE} = \frac{\rho \times v \times L}{\mu}$$

6. Jari jari hidrolis

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

7. Kemiringan dasar saluran

$$S = \left(\frac{n \times v}{R^{2/3}} \right)^2$$

8. Headloss saluran

$$H_f = n \times L$$

9. Cek bilangan Reynold

$$N_{RE} = \frac{\rho \times v \times L}{\mu}$$

C. Zona Transisi

1. Luas perforated baffle (A_b)

$$A_b = \text{Lebar baffle } (W_b) \times \text{tinggi baffle } (H_b)$$

2. Luas per lubang (A_L)

$$A_L = 1/4 \times \pi \times D^2$$

Keterangan:

D = diameter pipa

3. Luas bersih baffle (A_{bb})

$$A_{bb} = 40\% \times A_b$$

Keterangan:

A_b = luas perforated baffle

4. Jumlah lubang total (n_{total})

$$n_{total} = \frac{A_{bb}}{A_L}$$

Keterangan:

A_L = luas per lubang

A_{bb} = luas bersih baffle

5. Cek jumlah lubang (cek_n)

$$Cek_n = \text{lubang horizontal } (n_h) \times \text{lubang vertical } (n_v)$$

6. Jarak antar lubang horizontal (S_h)

$$S_h = \frac{W}{n_h + 1}$$

Keterangan:

n_h = lubang horizontal

H = tinggi bak

7. Jarak antar lubang vertikal (S_v)

$$S_v = \frac{H}{nv+1}$$

Keterangan:

nv = lubang vertikal

H = tinggi bak

8. Debit per lubang (Q_L)

$$Q_L = \frac{Q \text{ bak}}{\text{jumlah lubang}}$$

9. Kecepatan aliran lewat lubang (V_L)

$$V_L = \frac{Q \text{ lubang}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2}$$

10. Jari-jari lubang (R)

$$R = \frac{D \text{ lubang}}{2}$$

11. Cek bilang Reynold (Nre)

$$N_{RE} = \frac{\rho \text{ air} \times v \text{ lubang} \times R}{\mu \text{ air}}$$

Keterangan:

R = viskositas kinematic

μ = viskositas dinamik

ρ = massa jenis

12. Cek bilangan Froude (Nfr)

$$N_{FR} = \sqrt{\frac{vL}{g \times R}}$$

R = viskositas kinematic

g = gravitasi

vL = kecepatan aliran lewat lubang

D. Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

1. TSS yang teremoval

$$\text{TSS teremoval} = \% \text{ removal} \times \text{kadar TSS}$$

2. Kekeruhan yang teremoval

Kekeruhan teremoval = %removal x kadar kekeruhan

3. BOD yang teremoval

BOD teremoval = %removal x kadar BOD

4. Berat lumpur (Ws)

$W_s = Q \times (\text{TSS} + \text{kekeruhan} + \text{BOD}) \text{ teremoval}$

5. Berat air

$$W_w = \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar padatan dalam lumpur}} \times W_s$$

Keterangan:

W_s = berat sludge (lumpur)

6. Berat jenis lumpur

$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%)$

7. Volume Lumpur

$$V \text{ lumpur} = \frac{\text{berat lumpur} + \text{berat air}}{\text{berat jenis lumpur}} \times T_d$$

Keterangan:

T_d = waktu detensi

8. Dimensi zona lumpur

a. Luas permukaan atas zona lumpur

$$A = L_1 \times W_1$$

b. Luas permukaan dasar zona lumpur

$$A = L_2 \times W_2$$

Keterangan:

A = luas zona

L = Panjang zona

W = lebar zona

H = tinggi zona

9. Cek volume zona lumpur

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \times H$$

10. Debit lumpur pada pipa

$$Q_s = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{periode pengurasan}}$$

11. Debit tiap pengurasan

$$Q_p = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{waktu pengurasan}}$$

12. Luas permukaan pipa penguras

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

13. Diameter pipa penguras

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

E. Zona Pelimpah (*Overflow Zone*)

1. Panjang rotal weir (Lw)

$$L_w = \frac{Q_{bak}}{WRL}$$

Keterangan:

WRL= weir loading

2. Panjang pelimpah

$$L = \frac{L_w}{\text{jumlah pelimpah}}$$

Keterangan:

Lw = Panjang total weir

3. Debit tiap pelimpah

$$Q_{weir} = \frac{Q}{n}$$

Keterangan:

Q = debit air

n = jumlah saluran

4. Luas saluran gutter

$$A = \frac{Q_{weir}}{v}$$

Keterangan:

v = kecepatan aliran

5. Tinggi dan lebar pelimpah

$$H : W = 1 : 2$$

$$H = \sqrt{2 \times A}$$

$$W = 2 \times H$$

6. Ketinggian air pada pelimpah

$$H_{\text{air}} = \left(\frac{Q_{\text{weir}}}{1,38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{2/3}$$

7. Tinggi gutter

$$H_{\text{gutter}} = h_{\text{air}} + (20\% \times h_{\text{air}})$$

8. Jari jari hidrolis

$$R_{\text{gutter}} = \frac{h_{\text{air}} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times h_{\text{air}}) + \text{lebar gutter}}$$

9. Luas basah gutter

$$A_{\text{gutter}} = \text{lebar gutter} \times h_{\text{air}}$$

10. Slope gutter

$$S_{\text{gutter}} = \left(\frac{Q_{\text{gutter}} \times n}{A_{\text{gutter}} \times R_{\text{gutter}}^{2/3}} \right)^2$$

11. Headloss gutter

$$H_f = L_{\text{gutter}} \times S_{\text{gutter}}$$

Keterangan:

L = panjang

S = slope

12. Jumlah v notch

$$N = \frac{L_{\text{weir}}}{\text{jarak antar v notch} + \text{lebar v notch}}$$

13. Debit mengalir tiap v notch

$$Q_{\text{notch}} = \frac{Q}{\text{jumlah v notch}}$$

Keterangan:

Q = debit air

14. Tinggi peluapan melalui v notch (H)

$$Q = \frac{8}{15} (C_d) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{5/2}$$

Keterangan:

g = gravitasi

H = tinggi peluapan

15. Cek bilangan Reynold

$$N_{RE} = \frac{\rho \times v \times L}{\mu}$$

F. Zona Outlet

1. Volume saluran pengumpul

$$V = Q \times T_d$$

2. Dimensi saluran

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

$$H_{\text{tot}} = H + \text{Freeboard}$$

Keterangan:

L = Panjang bak

W = lebar bak

H = tinggi bak

3. Jari jari hidrolis

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

Keterangan:

W = lebar bak

H = tinggi bak

4. Luas penampang pipa

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

5. Diameter pipa

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}}$$

Keterangan:

A = Luas bak

6. Cek kecepatan (Vcek)

$$V_{\text{cek}} = \frac{\text{Debit air } (Q)}{\text{Luas penampang pipa } (A)}$$

2.2.4 Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penambahan udara/oksigen dalam air dengan membawa air dan udara ke dalam kontak yang dekat, dengan cara menyemprotkan air ke udara (air ke dalam udara) atau dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air (udara ke dalam air).

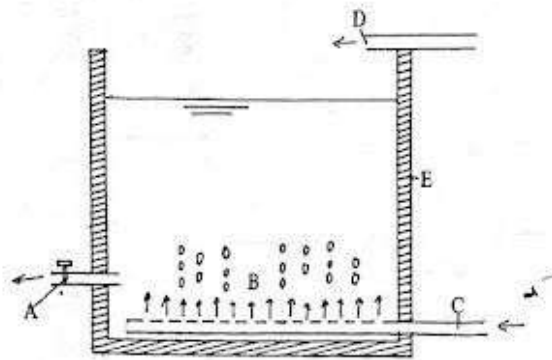
Sumber lain menjelaskan bahwa aerasi adalah suatu proses atau usaha dalam menambahkan konsentrasi oksigen yang terkandung dalam air, agar proses

oksidasi biologi oleh mikroba akan dapat berjalan dengan baik. Dalam melakukan proses Aerasi ini perlu menggunakan alat yang dinamakan aerator. Prinsip kerja alat ini adalah untuk menambahkan oksigen terlarut di dalam air tersebut. Kemudian yang menjadi tugas utama dari aerator ini adalah memperbesar permukaan kontak antara air dan udara. Adapun tujuan dari aerasi adalah

1. Penambahan jumlah oksigen.
2. Penurunan jumlah carbon dioxide (CO_2).
3. Menghilangkan hydrogen sulfide (H_2S), methan (CH_4) dan berbagai senyawa-senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

Hasil pengolahan air dengan metoda aerasi bermanfaat untuk menghasilkan air minum yang baik. Penurunan jumlah karbon dalam air sehingga bisa berbentuk dengan kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat menimbulkan masalah. Aerasi secara luas telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan jumlah besi dan mangan terlalu tinggi zat tersebut memberikan rasa pahit pada air, menghitamkan pemasakan beras dan memberikan noda hitam kecoklat-coklatan pada pakaian yang dicuci.

Oksigen yang berada di udara, melalui proses aerasi ini akan selanjutnya akan bereaksi dengan senyawa ferus dan manganous terlarut merubah menjadi ferri (Fe) dan manganic oxide hydrate yang tidak bisa larut. Setelah itu dilanjutkan dengan pengendapan (sedimentasi) atau penyaringan (filtrasi). Perlu dicatat bahwa oksidasi terhadap senyawa besi dan mangan di dalam air yang kecil (waterfall aerators/aerator air terjun) atau dengan mencampur air dengan gelembung-gelembung udara (bubble aerator). Dengan kedua cara tersebut jumlah oxygen pada air bisa dinaikan 60 – 80% (dari jumlah oksigen yang tertinggi, yaitu air yang mengandung oksigen sampai jenuh) pada aerator air terjun (waterfall aerator) cukup besar bisa menghilangkan gas-gas yang terdapat dalam air.



Gambar 2. 2 Bubble Aerator

(Sumber: Asmadi et al,2011)

Keterangan :

A = Outlet

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = Inlet air baku

E = Bak air

Penurunan carbon dioxide (CO₂) oleh waterfall aerators cukup berarti, tetapi tidak memadai apabila dari yang sangat corrosive. Pengolahan selanjutnya seperti pembubuhan kapur atau dengan saringan marmar atau dolomite yang dibakar masih dibutuhkan. Aerator Gelembung Udara (Bubble Aerator) jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi bubble (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3 – 0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan di aerasi. Berikut rumus-rumus yang diperlukan dalam perhitungan diffuser:

1. Debit tiap bak

$$Q = (\text{debit awal})/(\text{jumlah bak})$$

2. Volume bak aerasi

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

Q = debit air

T_d = waktu detensi

3. Dimensi bak aerasi

$$A = \text{volume}/(\text{tinggi} + \text{freeboard})$$

Mencari panjang dan lebar bak

$$A = P \times L$$

$$P = 2 \times L$$

Keterangan:

A = luas bak

P = Panjang bak

L = lebar bak

4. Luas tiap plate disk

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

Keterangan:

D = diameter pipa

5. Jumlah plate yang dibutuhkan

$$N = (\text{luas bak})/(\text{service area})$$

6. Jarak antar disk/plate

- Jarak horizontal antar disk (S_h)

$$S_h = (\text{panjang} - (\text{jumlah disk} \times \text{diameter})) / (\text{jumlah lubang} + 1)$$

- Jarak vertical antar disk (S_v)

$$S_v = (\text{lebar} - (\text{jumlah disk} \times \text{diameter})) / (\text{jumlah lubang} + 1)$$

7. Pipa inlet dan outlet

- Inlet

$$Q = A \times v$$

- Outlet

$$Q = A \times v$$

Keterangan:

Q = debit air

A = luas bak

v = kecepatan aliran pipa

8. Perhitungan kebutuhan oksigen (O_2)

$$O_2 = Q \times \% \text{removal} \times \text{total kebutuhan oksigen}$$

9. Perhitungan blower

$$P_w = wRT_1 / (550 \eta_e) [(P_2/P_1)^{n-1}]$$

Tabel 2. 3 Desain dan karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi		
<i>Cascade</i>	20-45% CO ₂	Tinggi 1-3 m
		Luas: 85-105 m ² /m ² .det
		Kecepatan aliran: 0,3 m/det
	> 95% VOC	Diameter kolom maksimum: 3 m
<i>Packing Tower</i>	> 90% CO ₂	Beban Hidrolik: 2000 m ³ /m ² .hari
	> 90% CO ₂	Kecepatan 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit
<i>Tray</i>		Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ air
Spray Aerator	70-90% CO ₂	Jarak rak (tray): 30-75 cm
		Luas: 50-160 m ² /m ³ .det
		Tinggi 1,2-9 m
	25-40 H ₂ S	
		Diameter nozzle: 2,5-4 cm jarak
		nozzle: 0,6-3,6 m Debit nozzle: 5-
		10 l/det
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 tangka kedalaman: 2,7-4,5 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
	25-40 H ₂ S	

(Sumber: Qasim et al, 2000)

2.2.5 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi-Flokulasi bertujuan untuk menyatukan partikel koloid sehingga membentuk partikel ukuran lebih besar yang selanjutnya dapat dipisahkan dengan cara yang lebih efisien melalui sedimentasi, flotasi, atau penyaringan dengan menambahkan bahan koagulan (Dalimunthe, 2007; Shammass & Wang, 2016). Koagulan atau Flokulan dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk memperbaiki pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifikflok yang diinginkan. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel (Pulungan, 2012). Pada tabel 2.9 dapat dilihat koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air.

Tabel 2. 4 Jenis-Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}$ H_2O x = 14,16,18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium aluminate	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	Bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminium Chloride, PAC	$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferric sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri klorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bongkah, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	> 8,5

(Sumber: Sugiarto, 2007)

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulasi yaitu:

1. Pengaruh Ph

Pada koagulan terdapat range pH optimum. Luasnya range pH koagulan ini dipengaruhi oleh jenis-jenis konsentrasi koagulan yang

dipakai. Hal ini penting untuk menghindari adanya kelarutan koagulan. Proses koagulan pH yang terbaik adalah 6-9.

2. Pengaruh Temperatur

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

3. Dosis koagulan

4. Air dengan kekeruhan yang tinggi memerlukan dosis koagulan yang lebih banyak. Dosis koagulan persatuan unit kekeruhan rendah, akan lebih kecil dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan yang tinggi, kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel akan berkurang dan netralisasi muatan tidak sempurna, sehingga mikroflok yang terbentuk hanya sedikit, akibatnya kekeruhan akan naik. Dosis koagulan yang berlebihan akan menimbulkan efek samping pada partikel sehingga kekeruhan akan meningkat.

5. Pengadukan (mixing)

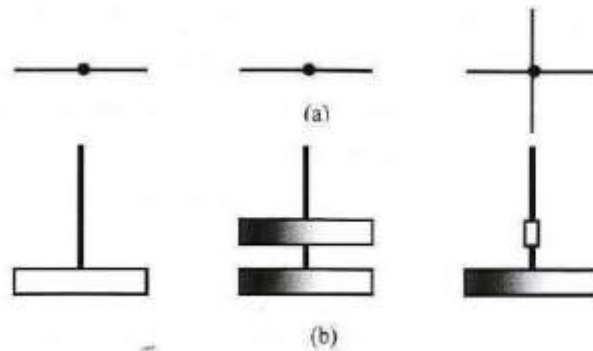
Pengadukan diperlukan agar tumbukan antara partikel untuk netralisasi menjadi sempurna. Distribusi dalam air cukup baik dan merata, serta masukan energi yang cukup untuk tumbukan antara partikel yang telah netral sehingga terbentuk mikroflok. Pada proses koagulasi ini pengadukan dilakukan dengan cepat. Air yang memiliki kekeruhan rendah memerlukan pengadukan yang lebih banyak dibandingkan dengan air yang mempunyai kekeruhan tinggi.

6. Pengaruh Garam

Garam dapat mempengaruhi proses penggumpalan. Pengaruh yang diberikan akan berbeda bergantung dengan macam garam (ion) dan konsentrasinya. Semakin besar valensi ion, semakin besar pengaruhnya terhadap koagulan. Penggumpalan dengan garam Fe dan Al akan banyak dipengaruhi oleh anion dibanding dengan kation. Jadi natrium, kalsium, dan magnesium relatif tidak mempengaruhi (Patimah, 2009).

Koagulasi atau pengadukan cepat dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu: pengadukan mekanis, hidrolis, dan pneumatik. Pada pengadukan mekanis,

digunakan peralatan berupa motor bertenaga listrik, poros pengaduk (shaft), dan alat pengaduk (impeller). Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling- baling). Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td . Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta KL dan KT .



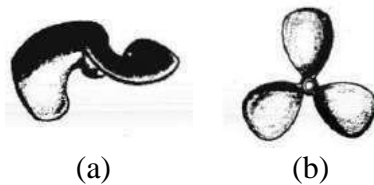
Gambar 2. 3 Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 4 Tipe Turbin

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 5 Tipe Propeller (a) 2 blade (B) 3 blade

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Tabel 2. 5 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Ket
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. 6 Nilai Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (detik ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
50 \geq	700

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996:184)

Tabel 2. 7 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

Jenis Impeller	KL	KT
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, 1996:184)

Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang berukuran lebih besar. Pada flokulasi, kontak antar partikel melalui tiga mekanisme, yaitu:

1. *Thermal motion*, yang dikenal dengan Brownian Motion atau difusi atau disebut sebagai Flocculation Perikinetik.
2. Gerakan cairan oleh pengadukan
3. Kontak selama pengendapan (Marsono, 2002)

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

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

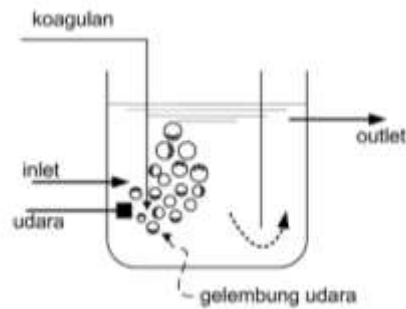
1. Air Sungai
 - Waktu detensi = minimum 20 menit

- $G = 10-50 \text{ detik}^{-1}$
- 2. Air waduk
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10-75 \text{ detik}^{-1}$
- 3. Air keruh
 - Waktu detensi dan G lebih rendah
- 4. Jika menggunakan garam besi sebagai koagulan
 - G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
- 5. Flokulator terdiri dari 3 kompartemen
 - G kompartemen 1: nilai terbesar
 - G kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1
 - G kompartemen 3: nilai terkecil
- 6. Penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = 30 menit
 - $G = 10-50 \text{ detik}^{-1}$
- 7. Presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain-lain)
 - Waktu detensi = 15-30 menit
 - $G = 20-75 \text{ detik}^{-1}$
 - $GT_d = 10.000-100.000$ (Masduqi & Assomadi, 2012:110)

I. Pengadukan Pneumatis

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan Gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh

turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2. 6 Pengadukan Cepat Secara Pneumatis

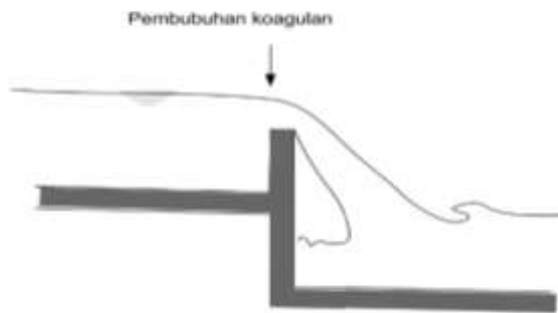
(Sumber : Zuliana, 2012)

II. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran.

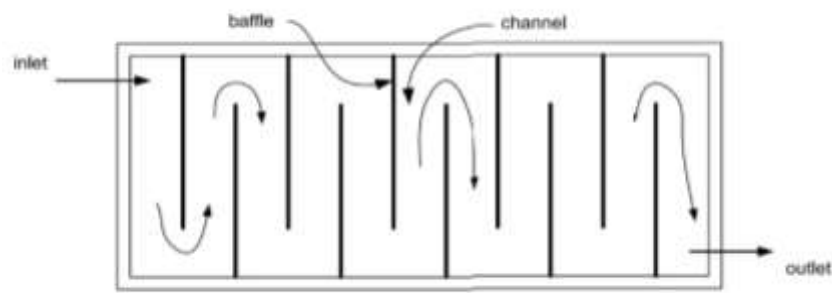
Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan (Gambar 5.9), loncatan hidrolik, dan *parshall flume*.

Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan ada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (baffled channel, Gambar 5.10), perforated wall, gravel bed dan sebagainya.



Gambar 2. 7 Pengadukan Cepat dengan Terjunan

(Sumber : Zuliana, 2012)



Gambar 2. 8 Pengadukan Lambat dengan Baffled Channel

(Sumber : Zuliana, 2012)

Adapun kriteria dan rumus perhitungan yang digunakan dalam unit koagulasi dan flokulasi hidrolis:

1. Koagulasi

Kriteria Perencanaan :

1. Gradien kecepatan (G) $= 700 - 1000/s$
(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 182. Boston: PWS Publishing Company)
2. Kedalaman Bak (H) $= 1 - 1,25$ Lebar Bak
3. Waktu Tinggal (T_d) $= 20-60$ detik
4. Bilangan Reynold (N_{re}) $= >10.000$ (turbulen)

5. Dosis Koagulan (Alum) = 75 – 250 mg/l
(Sumber: Eckenfelder, W., W. 2000. *Industrial Water Pollution Control 3rd edition*, hal 132. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc)
6. Koefisien pipa jenis Cast Iron Pipe (C) = 130
(Sumber: Soufyan dan Morimura, *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*, halaman 71)
7. Koefisien Headloss untuk aksesoris pipa (K):
 - Elbow 90° = 0,75
 - Gate valve = 0,19
 - Check valve = 2,50
 - Tee = 0,50
 (Sumber: Kawamura, *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, Jilid 2, hlm. 638)
8. Kadar Alum = 15-22%
(Sumber: Qasim Hal 236 pdf)
9. pH Alum = 4,5 – 7
10. Massa jenis Alum (ρ Alum) = 960 – 1010 kg/m³
11. Massa Jenis Air (ρ), T (28°C) = 0.9926 g/cm³ = 996.26 kg/m³
12. Viskositas Absolut (μ) T (28°C) = 0,8363 x 10⁻³ N.s/m²
(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 175-762. Boston: PWS Publishing Company)
13. Waktu Detensi = 20 – 60 s
14. Gradien Kecepatan (G) = 700 – 1000/s
15. G x Td = 14.000-60.000/s
(Sumber: Masduqi dan Assomadi)
16. Bilangan Reynold (NRe) = >10.000 (Turbulen)

Perhitungan Bak Pembubuh Koagulan:

1. Kebutuhan Alum harian

- $$\text{Kebutuhan Alum} = \text{Dosis Alum} \times Q$$
2. Kebutuhan Koagulan Sesungguhnya

$$\text{Kebutuhan Alum} = \text{Kadar Alum} \times \text{Kebutuhan Alum}$$
 4. Debit Koagulan

$$Q \text{ Alum} = \frac{\text{Kebutuhan Alum}}{\rho \text{ Alum}} \times t_d$$
 5. Debit Air Pelarut

$$Q \text{ air pelarut} = \frac{\text{Kadar air dalam larutan}}{\text{Kadar alum}} \times Q \text{ Alum}$$
 6. Debit Bak Pembubuh

$$Q \text{ Total} = Q \text{ Alum} + Q \text{ air pelarut}$$
 7. Volume Bak Pembubuh

$$V = Q \text{ Total} \times t_d$$
 8. Daya pengadukan

$$P = G^2 \times \mu \times V$$
 9. Diameter pipa outlet (Menuju Bak Koagulasi)
 - Luas Penampang Pipa Outlet

$$A = \frac{Q}{v}$$
 - Diameter Pipa Outlet

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

Rumus Perhitungan Bak Koagulasi Tipe Hidrolis:

1. Volume Air Baku

$$V \text{ air} = Q \text{ air baku} \times t_d$$
2. Volume Koagulan

$$V \text{ Alum} = Q \text{ Koagulan} \times T_d$$
3. Volume Total

$$V \text{ Total} = V_{\text{air}} + V_{\text{koagulan}}$$
4. Volume Pipa Injeksi

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

5. Waktu detensi Pipa Injeksi

$$t_d = \frac{Q}{Vi}$$
6. Dimensi Bak Koagulasi

$$H \text{ Bak Total} = H + 20\% \text{ freeboard}$$

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

$$A = P \times L$$
7. Ketinggian Jatuhan

$$H \text{ terjunan} = \frac{G^2 \times \mu \times t_d}{g}$$
8. Waktu Terjun ke Bak Koagulasi

$$t_{\text{terjunan}} = \sqrt{\frac{2H_{\text{terjunan}}}{g}}$$
9. Kecepatan Terjun ke Bak Koagulasi

$$V_{\text{terjunan}} = \frac{H_{\text{terjunan}}}{t_{\text{terjunan}}}$$
10. Cek Nilai Gradient Kecepatan

$$G = \left(\frac{\rho \times g \times Q \times H_{\text{terjunan}}}{\mu \times V_{\text{bak}}} \right)^{0,5}$$
11. Nilai G.Td

$$G_{td} = G \times T_d$$
12. Tinggi Peluapan V-Notch (Hp)

$$Q = \frac{8}{15} \times (cd) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H_p^{5/2}$$
13. Pipa Inlet dan Outlet

➤ Luas Penampang Pipa Inlet dan Outlet

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

➤ Diameter Pipa

$$D = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0,5}$$

➤ Cek

Kecepatan

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

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

14. Cek Bilangan Reynold

$$R = \frac{A}{WP}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} D^2}{\pi D}$$

$$Nre = \frac{v_{terjunan} \times R}{u}$$

2. Flokulasi

Kriteria Perencanaan :

1. Kecepatan aliran pipa (v) = 0,6 – 1,5 m/s

Sumber: Reynolds. 1996

2. Waktu detensi (td) = 15 – 30 menit

(Sumber : Masduqi dan Assomadi, (2016), Operasi & Proses Pengolahan Air hal 110)

3. Gradien kecepatan (G) = 10 – 100 /detik

Sumber: Al-Layla. 1980. Water Supply Engineering Design

4. Jarak baffle dengan dinding = >60 cm

5. Kedalaman air (H) = >1 meter

6. GT = 20.000 – 150.000

7. Koef kekasaran dinding (f) = 0,3 m

Sumber: Wahyono, 2012

8. Nre laminar = <2000

(Sumber: Reynolds, Tom D. & Paul A. Richards, (1996), Unit Operations and Process in Environmental Engineering Second Edition hal 224)

9. Nfr = $>10^{-5}$

Sumber: Reynold dan Richards, 1996

10. Massa jenis air 28°C = 996,26 kg/m³

9. Viskositas Absolut (μ), T = $0,8363 \times 10^{-3}$ N.s/m² (30°C)

10. Viskositas Kinetis (μ), T = $0,8394 \times 10^{-2}$ cm²/s (30°C)

Sumber: Reynolds. 1996

Perhitungan :

1. Waktu detensi total

Td total = \sum Td kompartmen

2. Volume bak total

Vtot = Q \times Td total

3. Dimensi

V = P \times L \times H

H total = H + Fb

4. Jari-jari hidrolis

R = $\frac{L \times H}{L + 2H}$

5. Lebar tiap kompartmen

L = $\frac{L}{3}$

6. Kompartmen X

Headloss

Hf = $\frac{\mu \times td}{\rho \times g} \times G^2$

<u>Jumlah baffle</u>	
n	$= \left[\left(\frac{2 \times \mu \times t_d}{\rho(1,44+f)} \right) \left(\frac{h \times P \times G}{Q} \right)^2 \right]^{1/3}$
<u>Jarak antar baffle</u>	
s	$= \frac{\text{Panjang}}{n+1}$
Jari-jari hidrolis	
R	$= \frac{L \times H}{L+2H}$
Kecepatan Kompartemen	
v ₁	$= \frac{Q}{H \times s}$
Cek Nre	
Nre	$= \frac{(v \times R)}{\mu}$
7. Headloss total	
Hf	$= H_f I + H_f II + H_f III$ $= 0,04 \text{ m} + 0,02 \text{ m} + 0,01 \text{ m}$ $= 0,07 \text{ m}$
8. Kemiringan dasar bak	
s	$= \frac{H_f \text{ total}}{P}$
9. Cek Nre	
Nre	$= \frac{(v \times R)}{\mu}$
10. Cek Nfr	
Nfr	$= \frac{v h^2}{g \times R}$
11. Pipa inlet dan outlet	
D	$= \left(\frac{Q}{v \times 1/4 \times \pi} \right)^{1/2}$

2.2.6 Sedimentasi

A. Gambaran Umum Unit Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel

tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut. Proses ini sangat umum digunakan pada instalasi pengolahan air minum. Aplikasi utama dari sedimentasi pada instalasi pengolahan air minum adalah:

- a. Pengendapan awal dari air permukaan sebelum pengolahan oleh unit saringan pasir cepat.
- b. Pengendapan air yang telah melalui proses prasedimentasi sebelum memasuki unit saringan cepat.
- c. Pengendapan air yang telah melalui proses penyemprotan desinfektan pada instalasi yang menggunakan pipa dosing oleh alum, soda, NaCl, dan chlorine.
- d. Pengendapan air pada instalasi pemisahan besi dan mangan.

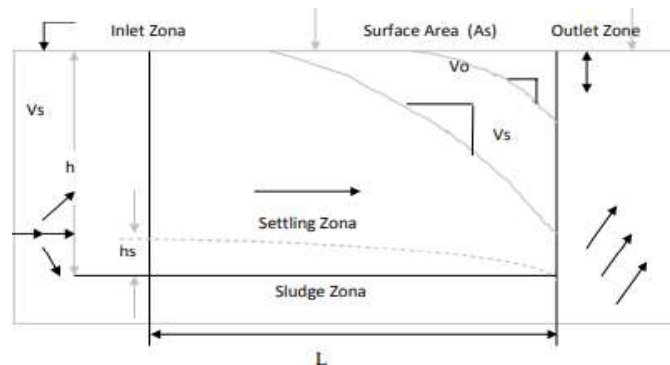
Pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel dan kemampuan dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Keempat kelas itu adalah:

- a. Pengendapan Tipe I (Free Settling)
- b. Pengendapan Tipe II (Flocculent Settling)
- c. Pengendapan Tipe III (Zone/Hindered Settling)
- d. Pengendapan Tipe IV (Compression Settling)

Pada setiap bangunan sedimentasi terdapat empat zona :

1. Zona Inlet
2. Zona Outlet
3. Zona Settling
4. Zona Sludge

Adapun zona-zona tersebut dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 2. 9 Zona Pada Bak Sedimentasi

(Sumber : Al Layla, Water Supplay Engineering Design)

B. Rumus Perhitungan Unit Sedimentasi

Adapun kriteria perencanaan dan rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak pengendap 1 setelah proses koagulasi dan flokulasi antara lain:

a. Zona Pengendapan (Settling Zone)

Kriteria Perencanaan :

1. Kedalaman Bak (H) = 3 – 4,9 m
2. Lebar Bak (W) = 3 – 24 m
3. Panjang (L) = 15 – 90 meter
4. Slope dasar = 1/16 – 1/6 m/m
5. Flight speed = 0,6 – 1,2 m/menit
5. Waktu tinggal (td) = 1,5 – 3 jam
6. Overflow rate
 - Rata-rata = 30-50 m³/m².hari
 - Weir loading = 125 – 500 m³/m².hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, Waste Water Engineering Treatment & Reuse, 4th Edition, halaman 398)

7. Massa jenis air (ρ), T (28°C) = 996,26 kg/m³
8. Viskositas kinematik (ν) = 0,8394 x 10⁻⁶ m³/s
9. Viskositas dinamik (μ) = 0,8363 x 10⁻³ N s/m²

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)

10. Specific gravity solid (Ss) = 1,4

11. Specific gravity sludge (Sg) = 1,02

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, halaman 1456)

12. Konsentrasi solid = 4% - 12%

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*, 4th Edition, halaman 398)

13. Bilangan Reynold (NRe) untuk $V_s < 1$ (laminar)

14. NRe untuk $V_h = < 2000$ (laminar)

15. $N_{fr} = > 10^5$

16. Koefisien kekasaran aksesoris pipa untuk headloss (k)

➤ Elbow = 1,1

➤ Tee aliran lurus = 0,35

➤ Gate valve = 0,2

(Sumber: Kawamura, *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, Jilid 2, hal. 638)

Rumus Perhitungan Zona Pengendapan :

1. Volume bak pengendap (V)

$$V = Q \times t_d$$

2. Luas permukaan (A)

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

3. Dimensi bak pengendap (L:W = 2:1)

$$\text{Luas} = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

Permukaan

$$A = L \times W$$

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

4. Cek volume max (V max)

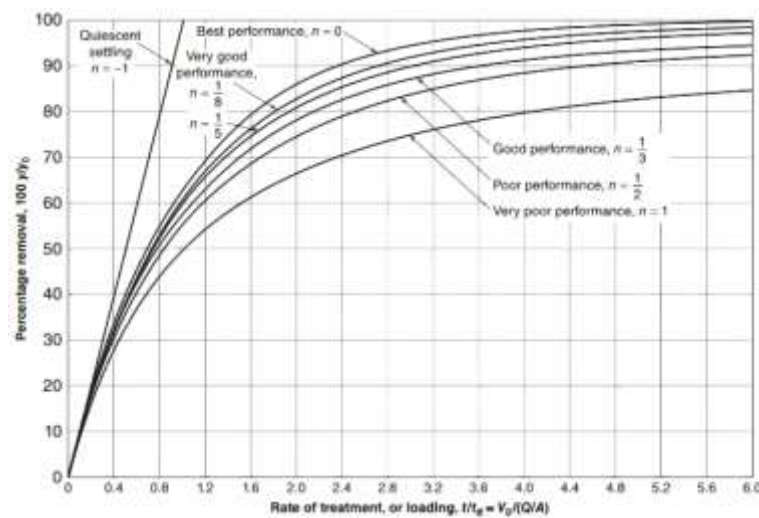
$$V \max = L \times W \times H_{tot}$$

5. Cek waktu

detensi (td cek)

$$T_d \text{ cek} = \frac{V \max}{Q}$$

6. Kecepatan pengendapan partikel (Vs)



Gambar 2. 10 Performance curves for Settling Basins of Varying Effectiveness

(Sumber: Fair et al., 1971)

$$\frac{v_s}{\left[\frac{Q}{A}\right]} = t/t_d$$

7. Diameter partikel (Dp)

$$D_p = \sqrt{\frac{V_s \times 18 \times u}{g (S_s - 1)}}$$

8. Massa Jenis Solid (ρs)

$$S_g = \frac{\rho_s}{\rho}$$

9. Kecepatan partikel (v₀)

$$v_0 = 1,5 \times v_s$$

10. Kecepatan horizontal partikel

$$V_h = \frac{Q}{W \times H}$$

11. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampang basah}}$$

$$= \frac{W \times H}{W + 2H}$$

12. Kemiringan dasar bak (Slope)

$$S = 1\% \times L$$

13. Cek bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{V_h \times R}{\nu}$$

14. Cek bilangan Froud

$$N_{fr} = \frac{V_h^2}{g \times R}$$

15. Cek kecepatan penggerusan (v_{sc})

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \beta \times g (\rho_{\text{sludge}} - \rho_{\text{air}}) \times D_p}{f}}$$

Direncanakan $v_{sc} > v_h$ agar tidak terjadi resuspensi

b. Zona Inlet

Zona inlet berfungsi untuk mengalirkan air baku ke bangunan prasedimentasi. Zona inlet harus didesain sedemikian rupa agar proses pengaliran ke bak prasedimentasi dapat berjalan dengan baik.

Kriteria Perencanaan :

1. Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
2. Slope maksimal = <0,001 m/m (1%)
3. Freeboard = 10 – 20%
4. Koefisien manning (beton) = 0,011 – 0,020

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning)

Rumus Perhitungan Zona Inlet :

1. Luas penampang

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

2. Dimensi Saluran

$$\text{Luas Penampang} = \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$A = B \times H$$

3. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas keliling basah}}{\text{Keliling penampang basah}}$$

$$= \frac{B \times H}{B + 2H}$$

4. Slope saluran

$$S = \left(\frac{\text{Volume} \times \text{koef manning (n)}}{R^{2/3}} \right)^2$$

5. Cek kecepatan

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

$$= \frac{Q}{B \times H_{tot}}$$

6. Headloss Saluran Inlet

$$H_f = S \times L$$

c. Zona Transisi (*Transisition Zone*)

Kriteria Perencanaan :

1. Massa jenis air (ρ), T (28°C) = 996,26 kg/m³
2. Viskositas dinamik (μ) = 0,8063 × 10⁻³ N s/m²

(Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd edition*, hal 762 (Appendix C). Boston: PWS Publishing Company)

3. Koefisien Manning (n) = 0,013

Rumus Perhitungan Zona Transisi :

1. Luas *perforated baffle*

$$A_b = B \times H$$

2. Luas tiap lubang

$$A_L = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

3. Luas lubang total

$$A_{bb} = 40\% \times A_b$$

4. Jumlah lubang

$$n \text{ lubang} = \frac{Abb}{AL}$$
5. Jumlah Lubang Horizontal

$$n_h = x \text{ Lubang}$$
6. Jumlah Lubang Vertikal

$$n_v = y \text{ Lubang}$$
7. Cek jumlah lubang

$$\text{Cek } n = l. \text{ horizontal} \times l. \text{ vertikal}$$

(memenuhi syarat > n lubang)
8. Jarak antar lubang horizontal

$$sh = \frac{B}{\text{Jumlah lubang horizontal} + 1}$$
7. Jarak antar lubang vertikal

$$sv = \frac{H}{\text{Jumlah lubang vertikal} + 1}$$
8. Debit per lubang

$$Q_L = \frac{Q}{\text{Jumlah lubang}}$$
9. Kecepatan aliran lewat lubang

$$v_L = \frac{Q_L}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$
10. Jari-Jari Lubang

$$R = \frac{\text{Diameter lubang}}{2}$$
11. Cek bilangan Reynold

$$N_{re} (\text{laminar}) = \frac{\rho \text{ air} \times v_L \times R}{\mu \text{ air}}$$
12. Cek bilangan Froud

$$N_{fr} = \sqrt{\frac{v_L}{g \times R}}$$

d. Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

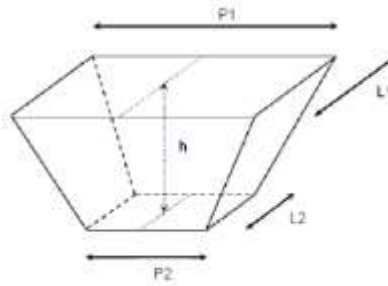
Pada zona ini merupakan area yang digunakan untuk menyimpan lumpur hasil dari pengendapan. Desain dari zona lumpur didasarkan dari besaran lumpur yang akan dihasilkan dan periode pengurasannya.

Kriteria Perencanaan :

1. Berat jenis sludge (ρ_s) = 2650 kg/m³
2. Berat jenis air (ρ_a) = 996,26 kg/m³
Sumber: Reynolds, Tom D. dan Paul A. Richards. 1996
3. Specific Solid (Ss) = 1,4
4. Laju aliran rata-rata = 30 – 50 m³/ m² hari
5. Weir Loading = 125 – 500 m³/ m² hari
6. Waktu Pengurasan = 0,5 – 1 Hari

Rumus Perhitungan Zona Sludge :

1. Parameter yang terendapkan
TSS yang Terendapkan di Zona Sludge
TSS yang Teremoval = %Removal \times Kadar TSS
TSS Effluent = TSS influent – TSS teremoval
COD yang Terendapkan di Zona Sludge
COD yang Teremoval = 40% \times Kadar COD
COD Effluent = COD influent – COD teremoval
2. Berat Lumpur (Ws)
$$W_s = Q \times (TSS + COD + \text{garam})_{\text{teremoval}}$$
3. Berat Air
$$W_w = \frac{\text{kadar air dalam lumpur}}{\text{kadar SS kering dalam lumpur}} \times \text{berat solid teremoval}$$
4. Berat jenis lumpur
$$\rho_s = (\text{berat jenis SS} \times 5\%) + (\text{berat jenis air} \times 95\%)$$
5. Volume Lumpur (Sludge)
$$V_{\text{Sludge}} = \frac{\text{berat lumpur (Ws)} + \text{berat air (Ww)}}{\text{berat jenis lumpur } (\rho_s)}$$
6. Dimensi ruang lumpur



Gambar 2. 11 Sketsa Dimensi Ruang Lumpur

(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

- Luas permukaan atas Zona Lumpur (A1)

$$A1 = P1 \times L1$$
- Luas permukaan Bawah Zona Lumpur (A2)

$$A2 = P2 \times L2$$
- 7. Volume Grit Storage (Limas Terpancung)

$$V_{LT} = \frac{1}{3} \times H \times (A1 + A2 + \sqrt{(A1 + A2)})$$
- 8. Dimensi Penguras
 - Debit tiap pengurasan

$$Qp = \frac{\text{Volume sludge}}{\text{waktu pengurasan}}$$
 - Luas permukaan pipa penguras

$$A = \frac{Qp}{\text{Kecepatan aliran penguras}}$$
 - Diameter pipa penguras

$$Dp = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$
 - Cek kecepatan

$$v \text{ cek} = \frac{Qp}{A}$$
- 9. Pompa Sludge ke Sludge Drying Bed

Pengurasan lumpur dari bak pengendap awal menuju ke sludge drying bed menggunakan bantuan pompa centrifugal slurry pump.

 - a. Luas Penampang Pipa Lumpur

$$A = \text{Luas Penampang Pipa}$$

$$= 0,25 \times \pi \times d^2$$

b. Kecepatan Aliran dalam Pipa Lumpur

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

10. Headloss Suction dan Discharge

$$H_f \text{ Total} = H_f \text{ Mayor} + H_f \text{ Minor}$$

e. Zona Pelimpah (*Overflow Zone*)

Kriteria Perencanaan :

1. Koefisien Drag (Cd) = 0,584

2. Sudut v notch = 60°

(Sumber: Qasim, dkk., 2000, *Water Works Engineering Planning, Design, and Operation*)

3. Weir loading rate = 125 – 500 m³/m.hari

(Sumber: Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse*
4th Edition, hlm 398)

Rumus Perhitungan Zona Pelimpah:

a) Gutter dan Weir

1. Panjang total weir (Lw)

$$L_w = \frac{Q \text{ bak}}{WLR}$$

2. Panjang pelimpah (L)

$$L = \frac{L_w}{\text{Jumlah pelimpah}}$$

3. Debit tiap pelimpah (weir)

$$Q \text{ weir} = \frac{\text{Debit Gutter}}{\text{Jumlah Weir}}$$

4. Luas saluran weir

$$A \text{ weir} = \frac{Q_{\text{weir}}}{v}$$

5. Tinggi (h) dan lebar (w) gutter

Direncanakan H : W = 1 : 2, maka

$$A = H \times W$$

6. Ketinggian air pada gutter

$$H_{\text{air}} = \left(\frac{Q_{\text{weir}}}{1,38 \times \text{lebar gutter}} \right)^{2/3}$$

7. Tinggi Total Air pada gutter

$$H_{\text{total}} = H_{\text{air}} + (H_{\text{air}} \times 20\%)$$

8. Jari-jari hidrolis Gutter

$$R_{\text{gutter}} = \frac{H_{\text{air}} \times \text{lebar gutter}}{(2 \times H_{\text{air}}) + \text{lebar gutter}}$$

11. Luas basah gutter

$$A_{\text{gutter}} = \text{Lebar gutter} \times H_{\text{air}}$$

$$12. \text{ Slope gutter} = \left(\frac{Q_{\text{gutter}} \times n}{A_{\text{gutter}} \times (R_{\text{gutter}})^{2/3}} \right)^2$$

13. Headloss = Panjang gutter \times slope gutter
pada gutter

b) V notch

1. Jumlah v notch (n)

$$n_{\text{v notch}} = \frac{\text{panjang tiap weir}}{\text{jarak v notch} + \text{lebar v notch}}$$

2. Debit tiap v notch

$$Q_{\text{vnotch}} = \frac{Q_{\text{limbah}}}{\text{jumlah v notch}}$$

3. Tinggi peluapan melalui v notch (H_p)

$$Q = \frac{8}{15} \times (cd) \sqrt{2 \times g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H_p^{5/2}$$

f. Zona Outlet

Kriteria Perencanaan :

1. Koefisien Drag (C_d) = 0,584

2. Sudut v notch = 45°

(Sumber: Qasim, dkk., 2000, *Water Works Engineering Planning, Design, and Operation*)

Rumus Perhitungan Zona Outlet:

1. Volume saluran pengumpul

$$V = Q \times t_d$$

2. Dimensi saluran pengumpul

$$\text{Volume (V)} = L \times W \times H$$

- $$H_{\text{Total}} = H + \text{freeboard}$$
3. Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{L \times H}{L \times (2+H)}$$
 4. Luas penampang

$$A = \frac{Q}{v}$$
 5. Diameter Pipa Outlet

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$
 6. Slope saluran

$$= \left(\frac{v \times n}{R^{2/3}} \right)^2$$
 7. Headloss saluran pengumpul

$$H_f = S \times L$$
 8. Cek kecepatan

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

2.2.7 Filtrasi

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

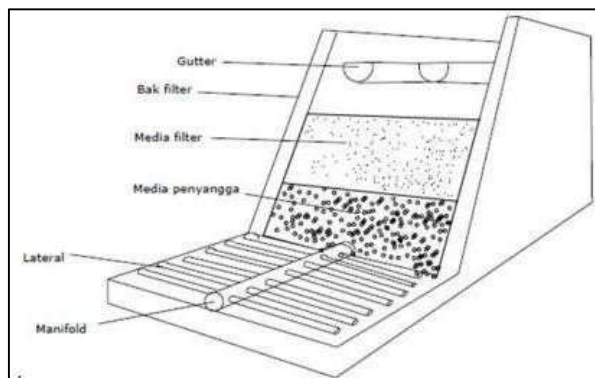
Bakteri dan sejenisnya dapat dengan efektif dihilangkan dengan menggunakan proses filtrasi. Selain itu filtrasi juga dapat mengurangi warna, rasa, bau, kadar besi juga kadar mangan yang terdapat di dalam air. Proses pengurangan kadar-kadar tersebut tidak lepas dengan adanya proses fisika dan kimia yang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

- a. Proses penyaringan yang terjadi di setiap lapisan permukaan filter
- b. Proses sedimentasi di dalam filter
- c. Kontak antara partikel flok dengan lapisan kerikil atau dengan flok yang

sudah terkumpul di atas lapisan filter.

- d. Proses adsorpsi atau proses elektrokinetik.
- e. Proses koagulasi di dalam filter.
- f. Proses biologis di dalam filter
- g. Penggabungan zat-zat koloid di dalam filter.

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang 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. Pada gambar 2.11 dapat dilihat bagian-bagian filter.



Gambar 2. 12 Bagian-Bagian Filtrasi

(Sumber : *Reynold & Richards, 1996*)

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan dimanacountry, antara lain rapid sand filter, slow sand filter, pressure sand filter, multiple media filters, diatomaceous earth filters, upflow filters dan lain sebagainya. Menurut Al-Layla pada tahun 1978, pada proses purifikasi air, rapid sand filters memiliki hasil *effluent* yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju filtrasi nya berkisar antara 4-5 m³ /m² .hr (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 m³ /m².hr). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45- 0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah

terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*. Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari *headloss filter* saat itu.

Keuntungan menggunakan *rapid sand filters* adalah area yang digunakan tidak begitu luas, pasir yang dibutuhkan lebih sedikit, kurang sensitif terhadap perubahan kualitas air baku, dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih cepat jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Sedangkan kekurangan dari *rapid sand filters* adalah tidak dapat mengurangi kadar bakteri di dalam air, membutuhkan biaya yang mahal, membutuhkan keahlian khusus dan menghasilkan lumpur yang banyak. Media filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia. Pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan. *Effective Size* (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari ratio ukuran rata – rata dan standar deviasinya. *Uniformity Coefficient* (UC) atau koefisien keragaman adalah angka keseragaman media filter yang dinyatakan dengan perbandingan antara ukuran diameter pada 60 % fraksi berat terhadap ukuran (size). Kriteria untuk keperluan *rapid sand filter* adalah sebagai berikut.

a. *Single Media*

- UC = 1,3 – 1,7
- ES = 0,45 – 0,7 mm

b. *Dual Media*

- UC = 1,4 – 1,9
- ES = 0,5 – 0,7 mm

Pada perancangan bangunan air minum kali ini, kami menggunakan filter pasir cepat atau rapid sand filter adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar 6 hingga 11 m/jam. Filter ini selalu didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Jika kekeruhan pada influen filter pasir cepat berkisar 5-10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi & Assomadi, 2019).

Tabel 2. 8 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian AntarSaringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 – 11	6 – 11
2	Pencucian:		
	Sistem pencucian	Tanpa/dengan	Tanpa/dengan
		blower & atau	blower & atau
		<i>surface wash</i>	<i>surface wash</i>
	Kecepatan (m/jam)	36 – 50	36 – 50
	Lama pencucian (menit)	10 – 15	10 – 15
	Periode antara dua pencucian (jam)	18 – 24	18 – 24
	Ekspansi (%)	30 – 50	30 – 50
3	Dasar filter		
	Lapisan penyangga dari atas ke bawah		
	Kedalaman (mm)	80 – 100	80 – 100
	ukuran butir (mm)	2 – 5	2 – 5
	Kedalaman (mm)	80 – 100	80 – 100
	ukuran butir (mm)	5 – 10	5 – 10
	Kedalaman (mm)	80 – 100	80 – 100
	ukuran butir (mm)	10 – 15	10 – 15
	Kedalaman (mm)	80 – 150	80 – 150

	ukuran butir (mm)	15 – 30	15 – 30
	Filter Nozzle Lebar slot nozzle (mm)	< 0,5	< 0,5
	Prosentase luas slot nozzle terhadap luas filter (%)	> 4%	> 4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

Rumus-rumus yang akan digunakan dalam perhitungan unit pengolahan ini ialah:

A. Zona Inlet

1. Debit Saluran pembawa (Q_s)

$$Q_s = \frac{Q}{n}$$

2. Luas Permukaan (A)

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

3. Dimensi saluran

Asumsi perbandingan L:H = 1:2

$$A = B \times H$$

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$B = 2H$$

$$H_{total} = H + F_b$$

4. Volume

$$V = Q \times t_d$$

5. Diameter

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

6. Cek Kecepatan (V_{cek})

$$V_{cek} = \frac{Q}{A}$$

7. Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{\text{Luas Keliling Basah}}{\text{Keliling Penampang Basah}}$$

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H}$$

8. Sloope

$$S = \left(\frac{n \times v}{R^{2/3}} \right)^2$$

9. Headloss Saluran

$$H_f = S \times L$$

10. Kehilangan tekanan pada pintu air

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q \times 3}{2 \times C_d \times B \times H^{3/2} \sqrt{2 \times 9,81}}}$$

$$H_{\text{bukaan pintu}} = H_{\text{dinding}} - H$$

B. Bak Filtrasi

1. Debit saluran pembawa (Q_s)

$$Q_s = \frac{Q}{n}$$

2. Luas Permukaan (A)

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

3. Dimensi saluran ($W : L = 1 : 2$)

$$A = W \times L$$

$$L = 2 \times W$$

C. Kehilangan Tekanan Media Filtrasi

a. Antrasit, Pasir, dan Garnet

1. Nilai bilangan Reynold (N_{re})

$$N_{re} = \frac{\text{Shape factor } (\phi) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{Kec.filtrasi } (V_a)}{\text{Viskositas dinamik } (\mu)}$$

2. Koefisien drag (C_d)

$$C_d = \frac{24}{N_{re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{re}}} + 0,34$$

3. Kehilangan tekanan (H_1)

$$H_1 = \frac{1.067}{\phi} + \frac{d}{g} + \frac{(V_a^2)}{(g^4)} + \frac{C_d}{d}$$

D. Backwash

a. Antrasit, Pasir, dan Garnet

1. Nilai bilangan Reynold (N_{re})

$$Nre = \frac{\text{Shape factor } (\phi) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{Kec.filtrasi } (Va)}{\text{Viskositas dinamik } (\mu)}$$

2. Koefisien drag (Cd)

$$Cd = \frac{24}{Nre} + \frac{3}{\sqrt{Nre}} + 0,34$$

3. Kecepatan pengendapan partikel (Vs)

$$Vs = \left(\frac{4 \times g}{3 \times Cd} \times (Sg - 1) \times d \right)^{1/2}$$

4. Kecepatan backwash (Vb)

$$Vb = Vs \times \varepsilon^{4,5}$$

5. Debit backwash (Qb)

$$Qb = Vb \times 1000 \text{ L/m}^3$$

6. Kehilangan tekanan awal backwash (HL)

$$HL = (Sg - 1) \times (1 - \varepsilon) \times D$$

7. Tinggi ekspansi media (Le)

$$Le = D \times \frac{(1-d)}{(1 - \frac{Va^{0,22}}{Vs})}$$

E. Sistem Manifold

a. Pipa Manifold

1. Luas Penampang pipa

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

2. Diameter pipa manifold

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

3. Cek kecepatan aliran pipa

$$Vcek = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

4. Panjang pipa manifold

$$Lm = \text{Panjang bak filtrasi}$$

b. Pipa Lateral

1. Diameter pipa lateral

$$DL = \frac{1}{3} \times Dm$$

2. Luas penampang pipa

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

3. Debit tiap pipa lateral

$$Q_L = V \times A$$

4. Jumlah pipa lateral

$$n = \frac{Q}{Q_L}$$

5. Jumlah lateral tiap sisi

$$n = \frac{\text{Jumlah pipa lateral}}{2}$$

6. Cek debit lateral

$$Q_{cek} = \frac{Q}{\text{jumlah pipa lateral}}$$

7. Panjang pipa lateral

$$L_L = \frac{\text{Lebar bak} - D_m \times (2 \times DL)}{2}$$

c. Orifice

1. Luas lubang orifice

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

2. Jumlah lubang orifice tiap bak filter

$$v = \frac{0,0025 \times \text{Luas penampang bak filtrasi}}{\text{luas lubang orifice}}$$

3. Jumlah orifice tiap pipa lateral

$$n = \frac{\text{Jumlah lubang orifice}}{\text{jumlah pipa lateral}}$$

F. Pipa Outlet

1. Luas penampang pipa

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

2. Kecepatan aliran pipa outlet

$$v = \frac{\text{debit tiap bak filtrasi (Q)}}{\text{luas penampang pipa (A)}}$$

3. Headloss mayor pipa outlet (Hf mayor)

$$Hf \text{ mayor} = \frac{10,7 \times (Q)^{1,852}}{(C)^{1,852} \times (D)^{4,87}}$$

4. Head kecepatan pipa outlet (Hv)

$$H_v = \frac{v^2}{2 \times g}$$

5. Headloss minor pipa outlet (Hf minor)

$$H_f = K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$H_f \text{ minor} = H_f \text{ elbow } 90^\circ + H_f \text{ gate valve} + H_f \text{ tee}$$

6. Headloss total pipa outlet (Hf total)

$$H_f \text{ total} = H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$$

G. Volume Air untuk Pencucian

1. Luas bak filtrasi

$$A = \text{Panjang bak (L)} \times \text{Lebar bak (W)}$$

2. Volume air untuk backwash

$$V_{bw} = A \times v \times t_{bw}$$

3. Debit backwash

$$Q_{bw} = \frac{V_{bw}}{t_{bw}}$$

H. Saluran Pelimpah (Gutter)

1. Kedalaman air pada gutter (H_o)

$$H_o = 1,73 \times \left(\frac{Q^2}{g \times W} \right)^{1/3}$$

2. Lebar gutter

$$W_w = 1,5 \times H_o$$

3. Tinggi gutter

$$H_w = H_o + (F_b \times H_o)$$

I. Tinggi Bak Filtrasi

1. Tinggi bak filtrasi

$$H = \text{tinggi ekspansi media} + \text{tinggi total gutter} + \text{diameter pipa manifold}$$

2. Tinggi total bak filtrasi

$$H_{\text{tot}} = H + (F_b \times H)$$

J. Ruang Penampung Backwash

1. Lebar bak penampung

$$W = (2 \times H_{\text{total}}) + \text{diameter pipa manifold}$$

2. Panjang bak penampung

$$V \text{ total} = \text{Lebar (W)} \times H \text{ total} \times L$$

K. Pipa Drain Backwash

1. Luas penampang pipa

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

2. Diameter pipa drain

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

3. Cek kecepatan aliran pipa

$$V_{cek} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

2.2.8 Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, (harus bebas mikroorganisme patogen). Desinfeksi ialah proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme, yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme. Sedangkan metode disinfeksi secara kimiawi adalah memberikan bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme yang berakibat matinya mikroorganisme tersebut.

Desinfeksi secara kimia menggunakan larutan kaporit, gas klor dan gas ozon. Sedangkan disinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan disinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan Kalium Permanganat. Kemampuan disinfeksi dalam pengolahan air minum adalah :

1. Menghilangkan bau.
2. Mematikan alga.
3. Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.
4. Mengoksidasi ammonia menjadi senyawa amina.
5. Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya.

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

1. Waktu kontak.
2. Konsentrasi desinfeksi.
3. Jumlah mikroorganisme.
4. Temperatur air.
5. pH.
6. Adanya senyawa lain dalam air.

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

Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8-8,3 oksidasi besi membutuhkan waktu 15-30 menit. Pada umumnya proses standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisa klor yang dianjurkan 0,2-0,5 mg/l (Said, 2009). Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl₂) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit (Sawyer et al., 2003). Rumus-rumus yang akan digunakan dalam perhitungan unit pengolahan ini ialah:

A. Kebutuhan Klor

1. Kebutuhan Klor

$$\text{Keb. Klor} = \text{Dosis klor} \times \text{debit air baku (Q)}$$

2. Kebutuhan kaporit

$$\text{Keb. Kaporit} = \frac{100\%}{60\%} \times \text{kebutuhan klor}$$

3. Debit kaporit

$$Q \text{ kaporit} = \frac{\text{Kebutuhan kaporit}}{\text{densitas}}$$

4. Debit air

$$Q \text{ air} = \frac{100\% - 5\%}{50\%} \times Q \text{ kaporit}$$

5. Debit larutan

$$Q \text{ larutan} = Q \text{ kaporit} + Q \text{ air}$$

6. Volume bak

$$\text{Volume bak} = Q \text{ larutan} \times \text{periode pelarutan}$$

7. Dimensi

$$H \text{ total} = H \text{ air} + (Fb \times H \text{ air})$$

$$\text{Volume} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times h$$

Keterangan:

Fb = Freeboard

D = diameter bak

h = tinggi bak

B. Pengadukan

1. Power

$$P = G^2 \times \mu \times \text{volume bak}$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan

μ = viskositas absolut

2. Diameter paddle

$$Di = \left(\frac{P \times g}{KT \times n^3 \times p} \right)^{1/5}$$

3. Cek Nre

$$Nre = \frac{Di^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

Di = diameter impeller

n = kecepatan putaran propeller

p = massa jenis klor

μ = viskositas absolut

4. Tinggi impeller dari dasar

$$\text{Tinggi impeller} = 1 \times D_i$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller

5. Debit penetesan

$$Q \text{ penetesan} = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}}$$

6. Diameter pipa injeksi

$$D \text{ pipa injeksi} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

7. Cek kecepatan

$$\begin{aligned} V_{\text{cek}} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \end{aligned}$$

Keterangan:

Q = debit air

D = diameter pipa

8. Dosing pump

$$\text{Dosing pump} = \frac{\text{Debit kaporit} \times \rho}{60}$$

C. Pipa Outlet

2.2.1. Luas pipa outlet

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

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

2.2.2. Diameter pipa

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

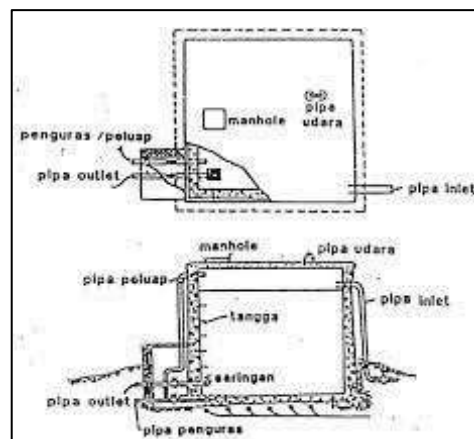
Keterangan:

A = luas

2.2.9 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu system penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air. Sering kali untuk waktu yang bersamaan, debit produksi air bersih tidak dapat selalu sama besarnya dengan debit pemakaian air. Pada saat jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air. Berdasarkan tinggi relative reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu reservoir permukaan dan reservoir menara.

A. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)

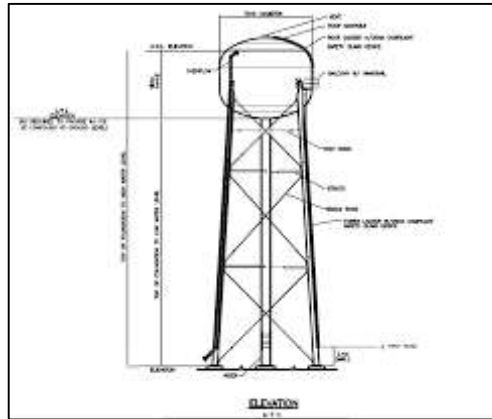


Gambar 2. 13 Reservoir Permukaan

(Sumber: BPSDM PU, 2018)

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

B. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)



Gambar 2. 14 Reservoir Menara

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

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

1. Reservoir Tangki Baja



Gambar 2. 15 Reservoir Tangki Baja

(Sumber: BPSDM PU, 2018)

Banyak reservoir menara dan “*standpipe*” atau reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja dibaut atau dilas. Karena baja berisiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu dicat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari beton.

2. Reservoir Beton Cor

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



Gambar 2. 16 Reservoir Beton Cor

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

3. Reservoir *Fiberglass*

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



Gambar 2. 17 Reservoir Fiberglass

(Sumber: <https://shopee.co.id/Jual-Tangki-Air-Panel-Fiberglass-Tangki-Air-Kotak-Toren-Air-FRP-i.251940108.5437370986>)

4. Reservoir Pasangan Bata

Penggunaan bata merah sebagai bahan dinding reservoir sudah cukup lumrah digunakan karena material yang didapatkan sangat mudah. Selain itu, penggunaan batu bata memiliki kelebihan yaitu kuat, tahan lama, dan jarang terjadi keretakan. Namun, pasangan batu bata juga memiliki kekurangan yaitu sulitnya membuat pasangan batu bata yang rapi. Agar rapi, plesteran yang digunakan juga harus tebal agar menghasilkan dinding yang cukup rata dan kuat, selain itu biasanya juga terjadi kecenderungan pemborosan material.

Rumus- rumus yang akan digunakan dalam perhitungan unit pengolahan ini ialah:

A. Pipa Inlet dan Outlet

1. Luas penampang pipa

$$A = \frac{\text{Debit gas klorin (Qc)}}{\text{Kecepatan aliran (v)}}$$

2. Diameter pipa

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

Keterangan:

A = luas penampang pipa

3. Cek kecepatan

$$V_{cek} = \frac{\text{Debit gas klorin } (Q_c)}{\text{Luas penampang } (A)}$$
$$= \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi \times D^2}$$

Keterangan:

Q = debit air

D = diameter pipa

B. Bak Reservoir

1. Volume bak

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

Q = debit air

T_d = waktu detensi

2. Luas bak penampung

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

Keterangan:

V = Volume bak

H = tinggi bak

3. Dimensi bak

$$A = L \times W$$

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$L = 2 \times W$$

$$H_{total} = H + (F_b \times H)$$

Keterangan:

A = luas bak

H = tinggi bak

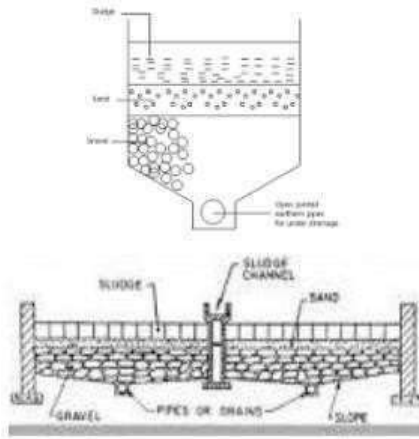
W = lebar bak

L = Panjang bak

2.2.10 Sludge Drying Bed

Sludge Drying Bed pada umumnya digunakan untuk pengumpulan padatan lumpur/*sludge* dengan ukuran padatan yang relative kecil hingga sedang. Dalam prosesnya, lumpur/*sludge* diletakkan pada kolam memiliki kedalaman lapisan lumpur yang berkisar antara 200 – 300 mm. pengurangan kadar air dalam *sludge drying bed* terjadi karena adanya saluran drainase yang terletak di dasar kolam dan akibat proses penguapan. Kebanyakan hilangnya kadar air dari *sludge drying bed* diakibatkan oleh pengurasan pada saluran drainase. *Sludge drying bed* pada umumnya dilengkapi dengan saluran drainase lateral (pipa PVC berpori atau pipa yang diletakkan di dasar dengan open join) (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Saluran drainase memiliki persyaratan minimal kemiringan yaitu sekitar 1% (0,01 m/m) dengan jarak antar saluran drainase pada masing-masing partisi sekitar 2,5-6 m. Saluran drainase juga harus terlindung dari lumpur secara langsung sehingga diperlukan media yang mampu menutupi saluran drainase pada *sludge drying bed*. Media tersebut pada umumnya berupa kerikil dan juga pecahan batu yang disusun dengan ketebalan antara 230-300 mm. Ketebalan yang diatur sedemikian rupa memiliki fungsi guna menghambat laju air dan meminimalisasi masuknya lumpur ke dalam saluran drainase. Pasir yang digunakan pada media penyangga juga memiliki batasan koefisien keseragaman yang tidak lebih dari 4 dan memiliki effective size antara 0,3-0,75. Area pengeringan memiliki dimensi lebar yang dibatasi pada 6 m dengan panjang yang berkisar antara 6-30 m dan kedalaman yang berkisar antara 380-460 mm. Bahan beton disarankan digunakan sebagai bahan penyusun bangunan *sludge drying bed* (Metcalf & Eddy et al., 2007).



Gambar 2. 18 Sludge Drying Bed

(Sumber: Metcalf and Eddy, 2007)

Pipa inlet pada bangunan *sludge drying bed* harus dirancang dengan kecepatan minimal 0,75 m/s dan memungkinkan untuk terjadinya proses pengurasan pada saluran drainase. Pipa besi dan PVC merupakan jenis pipa yang paling sering digunakan. Sistem penyaluran *sludge* dilakukan dengan mengalirkan air tegak lurus dengan posisi *sludge drying bed* guna mengurangi kecepatan alir saat *sludge* memasuki bangunan pengering. Padatan pada *sludge drying bed* hanya dapat dikuras dari bangunan *sludge drying bed* setelah *sludge* mengering. Kadar air yang terkandung dalam lumpur yang telah mengering berkisar pada 60% pada rentang antara 10-15 hari. Proses pengurasan dapat dikatakan selesai apabila lumpur telah dikeruk menggunakan *scraper* atau secara manual dan diangkut menggunakan truk keluar dari lokasi pengolahan (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Sludge drying bed yang sedang digunakan untuk proses pengeringan lumpur hendaknya ditutup guna mengisolasi dan mengantisipasi tersebarnya bau yang mungkin ditimbulkan. Akan tetapi, apabila reaktor dirancang untuk dibiarkan terbuka, hendaknya reaktor *sludge drying bed* dibangun pada jarak minimal 100m dari lokasi hunian penduduk guna mengantisipasi pencemaran udara yang diakibatkan oleh bau (Metcalf & Eddy et al., 2007). Daya tampung *sludge drying bed* dihitung berdasarkan perbandingan area per kapita dengan satuan *sludge* / lumpur kering dalam kg per meter persegi per tahun

(kg/m².tahun). Data tipikal untuk variasi lumpur yang dihasilkan akan ditunjukkan berikut ini:

Tabel 2. 9 Kriteria Kebutuhan Luas Lahan SDB Berdasarkan Tipe Tanah Solid

Tipe Biosolid	Luas Lahan*		Sludge Loading Rate	
	ft ² /person	km ² /person	lb lumpur kering/ft ² .tahun	kg lumpur kering/ft ² .tahun
Primary Digester	1-1,5	0,1	25-30	120-150
Humus Trickling Filter	1,25-1,75	0,12-0,16	18-25	90-120
Lumpur Activated Sludge	1,75-2,5	0,16-0,23	12-20	60-100
Lumpur Presipitasi Kimia	2-2,5	0,19-0,23	20-33	100-160

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

Berdasarkan kebutuhan luas lahan untuk memenuhi variasi antara 70-75% *Sludge Drying Bed* terbuka.

Rumus yang digunakan pada unit pengolahan *Sludge Drying Bed* adalah sebagai berikut:

1. Tebal media

Tebal media = tebal pasir + tebal kerikil + tebal cake

2. Volume lumpur tiap bed

$$V_b = \frac{\text{Volume lumpur total}}{\text{Jumlah bed}}$$

3. Volume sludge cake

$$V_i = \frac{V_b (1-p)}{1-P_i}$$

Keterangan:

V_b = volume lumpur tiap bed

P = kadar air

P_i = berat air dalam cake (60 – 70%)

4. Volume sludge drying cake

$$V = V_i \times t_d$$

Keterangan:

V_i = volume sludge cake

Td = waktu detensi

5. Dimensi tiap bed

$$A = \frac{V}{\text{Tebal cake}}$$

$$A = L \times W$$

Keterangan:

L = panjang dimensi

W = lebar dimensi

6. Volume air

$$V_a = \frac{\text{Volume lumpur total} - (V_i \times t_d)}{\text{Jumlah bed}}$$

Keterangan:

V_i = volume sludge bed

Td = waktu detensi

7. Kedalaman underdrain

$$H = \frac{V_a}{A}$$

Keterangan:

V_a = volume air

A = luas tiap bed

8. Kedalaman total

$$H_{\text{total}} = H_{\text{total media}} + H_{\text{underdrain}}$$

$$H_{\text{bangunan}} = H_{\text{air}} + \text{freeboard}$$

9. Diameter pipa underdrain

$$Q = \frac{V_a}{t_d}$$

$$Q = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi}}$$

Keterangan:

V_a = volume air

Td = waktu detensi

Q = debit air

2.3 Persen Removal

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

Tabel 2. 10 Jenis Pengolahan Berdasarkan Parameter

No	Parameter	Unit Pengolahan	Sumber
1	Kekeruhan	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processess in Environmental Engineering</i>, page 130 - Droste, Ronald L. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. hal 224 - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processess in Environmental Engineering</i>, page 316
2	TSS	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Syed R. Qasim 1985, <i>WWTP Planning Design and Operation</i>. Page 52 - Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> 4th, Hal 497 - Droste, 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. - Halaman 224
3	TDS	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processess in Environmental Engineering</i>, page 233 - Droste, Ronald L, 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i>. Hal 224

No	Parameter	Unit Pengolahan	Sumber
4	BOD	<ul style="list-style-type: none"> - Prasedimentasi - Sedimentasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Syed R. Qasim, <i>Wastewater Treatment Plants Design and Operation</i> hal. 263 - Metcalf and Eddy, <i>Wastewater Engineering Treatment and Reuse</i> 4th, Hal 497 - Syed R. Qasim, <i>Wastewater Treatment Plants Design and Operation</i>
5	Fe	<ul style="list-style-type: none"> - Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 224 - Reynolds/Richards 2nd, <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i>, page 316
6	Mn	<ul style="list-style-type: none"> - Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i>, Hal 224 - Ali Masduqi. Operasi dan proses pengolahan air. hal 171
7	Amonia	<ul style="list-style-type: none"> - Aerasi - Filtrasi (<i>rapid sand filter</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ririn Arifah . Amonia Stripping 2016 - Metcalf and eddy hal 196; Fair and Geyer, 1954
8	Fecal Coliform	Desinfeksi	- Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224
9	Total Coliform	Desinfeksi	- Droste, 1997, <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9</i> , Hal 224
10	pH	Netralisasi	- Reynolds/Richards 2 nd , <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> , page 130

2.4 Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan faktor penting demi terjadinya proses pengaliran air. Profil hidrolis digambarkan untuk mendapat tinggi muka air pada masing masing unit. Profil hidrolis menunjukkan adanya kehilangan tekanan (headloss) yang terjadi akibat pengaliran pada bangunan. Beda tinggi tiap unit 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.