

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Baku

Air baku adalah air yang berasal dari sumber alami yang digunakan sebagai bahan dasar dalam proses pengolahan air minum. Sumber air baku harus memiliki kuantitas yang mencukupi serta memenuhi persyaratan mutu agar mampu mendukung kebutuhan air minum di wilayah perencanaan. Dalam penentuan sumber air baku, diperlukan data kualitas dan kuantitas sumber air yang diperoleh melalui pengamatan dan pengujian secara berkala dalam jangka waktu tertentu, umumnya antara 5 hingga 10 tahun, guna memastikan keberlanjutan pasokan air dan kestabilan kualitas sumber tersebut (Kawamura, 1991).

Sumber air baku yang digunakan dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) ini adalah air permukaan yang berasal dari Sungai Kapuas. Air permukaan merupakan air yang berada di atas permukaan tanah, seperti sungai, danau, rawa, dan mata air. Secara umum, kualitas air permukaan belum memenuhi persyaratan sebagai air minum secara langsung karena umumnya mengandung kekeruhan, zat organik, logam berat, warna, serta mikroorganisme patogen. Oleh karena itu, air permukaan memerlukan pengolahan terlebih dahulu agar memenuhi kriteria sebagai air minum yang layak konsumsi.

Agar air permukaan dapat digunakan sebagai air baku air minum, diperlukan pemenuhan beberapa parameter kualitas, antara lain pH, kadar oksigen terlarut, kandungan padatan, temperatur, serta bebas dari bakteri berbahaya. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2023, nilai pH air permukaan yang diperbolehkan berada dalam rentang 6,5–8,5. Air permukaan yang paling umum digunakan sebagai sumber air baku dalam sistem penyediaan air minum adalah air sungai dan danau, mengingat ketersediaannya dalam jumlah besar dan keberlangsungannya relatif stabil.

Standar mutu air minum di Indonesia telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Air hasil pengolahan wajib memiliki mutu yang baik dan memenuhi kriteria fisik, antara lain tidak berbau, tidak berwarna, tidak keruh, serta

layak untuk didistribusikan kepada masyarakat. Mutu air secara umum diklasifikasikan ke dalam empat kelas berdasarkan peruntukannya, yaitu kelas I sebagai air baku air minum, kelas II untuk prasarana rekreasi dan budidaya perikanan, kelas III untuk keperluan peternakan dan pertanian, serta kelas IV untuk pengairan pertanian.

Dalam penentuan karakteristik air baku Sungai Kapuas sebagai sumber air minum, dilakukan pengujian terhadap beberapa parameter utama, yaitu pH, besi (Fe), mangan (Mn), *Total Suspended Solid* (TSS), kekeruhan, dan *Total Coliform*. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi fisik, kimia, dan mikrobiologis air baku, sekaligus menjadi dasar dalam menentukan jenis serta tahapan pengolahan yang diperlukan.

2.1.1 pH

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan yang sangat memengaruhi stabilitas kimia air serta efektivitas proses pengolahan. Air dengan pH tinggi menghadapi kesulitan dalam proses pengolahan biologis, sehingga diperlukan perlakuan awal melalui sistem pengolahan tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007). Nilai pH yang terlalu rendah (bersifat asam) dapat menyebabkan korosi pada pipa distribusi dan peralatan pengolahan, yang dalam jangka panjang dapat mengakibatkan kerusakan sistem perpipaan serta meningkatkan kandungan logam akibat pelarutan material pipa ke dalam air. Sebaliknya, pH yang terlalu tinggi (bersifat basa) dapat menyebabkan pembentukan endapan karbonat, menurunkan efisiensi proses koagulasi, dan memengaruhi kinerja desinfeksi, khususnya bila menggunakan klorin. Nilai pH juga berperan penting dalam kelangsungan hidup mikroorganisme serta kestabilan oksigen terlarut di dalam air. Oleh karena itu, air baku yang digunakan dalam pengolahan air minum harus memiliki nilai pH yang sesuai dengan ketentuan baku mutu yang berlaku, yaitu berada pada kisaran 6,5–8,5, agar proses pengolahan dapat berlangsung secara optimal dan air hasil olahan aman untuk dikonsumsi.

2.1.2 Besi (Fe)

Besi merupakan salah satu parameter kimia yang umum ditemukan dalam air permukaan dan air tanah. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat

bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} (fero) atau Fe^{3+} (feri); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $<1\mu\text{m}$) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya. Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/L, tetapi dalam air tanah kadar Fe mampu lebih tinggi. Hal ini dibuktikan dengan kain yang ternodai dan perkakas dapur (Febrina & Astrid, 2014). Kadar maksimum besi yang diperbolehkan pada air minum sebesar 0,2 mg/L, sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tahun 2023. Keberadaan besi dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan perubahan warna air menjadi kekuningan hingga kecoklatan, menimbulkan rasa logam, serta menghasilkan endapan yang dapat menyumbat saluran distribusi. Selain itu, kadar besi yang berlebihan dapat mendukung pertumbuhan bakteri besi yang mampu membentuk lendir pada dinding pipa, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas air serta mengganggu sistem distribusi. Secara estetika, keberadaan besi menyebabkan noda pada pakaian dan peralatan sanitasi, sehingga menurunkan tingkat kenyamanan pengguna. Dalam sistem pengolahan air minum, besi umumnya dihilangkan melalui proses oksidasi, aerasi, dan filtrasi guna mengubah bentuk besi terlarut menjadi partikel padat yang dapat disaring. Oleh sebab itu, analisis kadar besi dalam air baku menjadi sangat penting untuk menentukan metode pengolahan yang paling tepat dan efektif.

2.1.3 Mangan (Mn)

Mangan memiliki karakteristik yang hampir serupa dengan besi, namun dampaknya terhadap kualitas air sering kali kurang disadari karena konsentrasinya relatif lebih kecil. Mangan dalam jumlah yang melebihi ambang batas dapat menyebabkan perubahan warna air menjadi kehitaman serta menimbulkan noda pada peralatan dan bahan tekstil. Dalam jangka panjang, konsumsi air yang mengandung mangan dalam kadar tinggi dapat berdampak negatif terhadap kesehatan, khususnya gangguan pada sistem saraf. Dari sisi teknis, keberadaan mangan dapat menyulitkan proses pengolahan karena dalam kondisi anaerob mangan berada dalam bentuk terlarut, sehingga memerlukan proses oksidasi lanjutan agar dapat diendapkan dan disaring. Oleh karena itu, pengolahan mangan umumnya dilakukan bersamaan dengan besi menggunakan proses aerasi, oksidasi

kimia, serta penyaringan melalui media filtrasi tertentu agar kandungan mangan dalam air olahan dapat ditekan hingga memenuhi standar mutu air minum.

2.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan senyawa berbentuk padat yang tersuspensi berada di dalam air. Padatan ini dapat berasal dari mineral- mineral misalnya silt, pasir yang sangat halus, lempung, atau dari zat hasil penguraian jasad makhluk hidup. TSS juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. TSS menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air (Said, 2017). TSS adalah bahan tersuspensi yang mengakibatkan kekeruhan air, terdiri dari pasir halus, lumpur, serta jasad-jasad renik yang berasal dari kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air (Effendi, 2003).

2.1.5 Kekeruhan

Kekeruhan atau turbiditas (*turbidity*) adalah parameter penentu tingkat kekeruhan air. Parameter ini dijadikan acuan untuk nilai baku mutu beberapa aplikasi seperti air limbah, air minum, air bersih, air laut, 5 air permukaan dan sampel air lainnya. Umumnya, uji kekeruhan air dilakukan secara Nefelometri menggunakan alat Nefelometer. Hanya saja, metode Nefelometri bukan satu - satunya metode yang dapat digunakan untuk pengukuran nilai kekeruhan melainkan terdapat metode lainnya yakni turbidimetri yang dapat diaplikasikan untuk penentuan nilai kekeruhan.

Jika nilai kekeruhan tergolong tinggi atau melebihi batas maksimum baku mutu, maka air tersebut wajib untuk diolah lebih dahulu. Terdapat 3 metode yang dapat digunakan untuk menjernihkan air atau menurunkan nilai kekeruhan air, yakni metode biologi, metode fisika-kimia dan metode kombinasi antara metode biologi dan kimia-fisika. Pada metode biologi, penjernihan air menggunakan bakteri atau organisme lainnya dengan memecah partikel - partikel organik menjadi karbon dioksida dan biomassa melalui proses aerobik, anaerobik maupun anoksik. Untuk metode kimia-fisika atau yang dikenal sebagai pengolahan primer/sekunder (*primary/secondary treatment*) terdiri dari beberapa tahapan seperti filtrasi (*filtration*), koagulasi (*coagulation*), flokulasi (*flocculation*), pengendapan logam, penghilangan busa serta pengeringan lumpur dan netralisasi nilai pH.

2.1.6 Total Coliform

Total Coliform merupakan parameter mikrobiologis yang digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran biologis dalam air. Keberadaan koliform menandakan kemungkinan kontaminasi oleh mikroorganisme patogen yang berasal dari limbah domestik, kotoran manusia atau hewan, serta aktivitas masyarakat di sekitar sumber air (Adrianto, 2018). Air yang mengandung bakteri coliform berpotensi menimbulkan berbagai penyakit berbasis air (*waterborne diseases*) seperti diare, kolera, dan disentri. Oleh karena itu, parameter ini menjadi salah satu indikator utama dalam penilaian keamanan air minum. Pengendalian koliform dilakukan melalui proses desinfeksi, seperti klorinasi atau penggunaan sinar ultraviolet, yang bertujuan membunuh mikroorganisme patogen sebelum air didistribusikan kepada pengguna. Nilai koliform dalam air minum harus berada pada batas aman sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh pemerintah demi menjamin kesehatan masyarakat.

2.2 Standar Kualitas Air Minum

Tabel berikut merupakan standar kualitas air minum yang tertera pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023.

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Eschericia coli</i>	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100 ml	SNI / APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI / APHA
4.	<i>Total Dissolve Solid</i>	< 300	mg/L	SNI / APHA
5.	Kekeruhan	< 3	NTU	SNI atau yang setara

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
6.	Warna	10	TCU	SNI / APHA
7.	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8.	pH	6,5 - 8,5	-	SNI / APHA
9.	Nitrat (sebagai NO ₃) (terlarut)	20	mg/L	SNI / APHA
10.	Nitrit (sebagai NO ₂) (terlarut)	3	mg/L	SNI / APHA
11.	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
12.	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI / APHA
13.	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI / APHA
14.	Sisa khlor (terlarut)	0,2 – 0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI / APHA
15.	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
16.	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI / APHA
17.	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI / APHA
18.	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI / APHA
19.	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI / APHA

(Sumber: Permenkes RI No. 2 Tahun 2023)

2.3 Bangunan Pengolahan Air Minum

2.3.1 *Intake dan Screen*

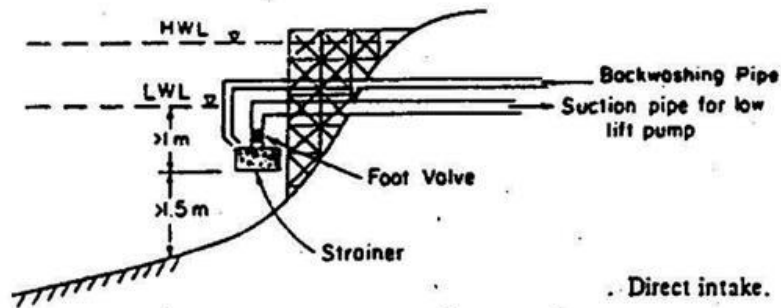
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), *intake* didefinisikan sebagai bangunan yang berfungsi untuk menangkap atau mengambil air dari sumbernya (seperti sungai, danau, atau sumber lainnya). Kapasitas bangunan *intake* harus dirancang untuk memenuhi kebutuhan air harian maksimum. Berikut adalah persyaratan utama untuk lokasi dan konstruksi bangunan *intake*:

- Aman dari polusi. Lokasi *intake* harus bebas dari risiko pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau makhluk hidup lainnya.
- Akses dan stabilitas. Lokasi harus memudahkan dalam pelaksanaan konstruksi dan aman dari ancaman alam seperti tanah longsor.
- Gravitasi diutamakan. Sedapat mungkin, penempatan *intake* harus memungkinkan pengoperasian menggunakan sistem gravitasi (memanfaatkan perbedaan ketinggian) untuk mengalirkan air.
- Karakteristik sumber air. Pemilihan lokasi harus mempertimbangkan karakteristik spesifik dari sumber air baku tersebut.
- Aman terhadap bencana. Konstruksi *intake* harus dirancang agar tahan terhadap banjir sungai, serta aman terhadap gaya-gaya struktural seperti gaya guling, gaya geser, rembesan, gempa, dan gaya angkat air (*up-lift*).
- Kebutuhan maksimum. Dimensi bangunan *intake* secara keseluruhan harus mempertimbangkan kebutuhan air harian maksimum.
- Fluktuasi air. Dimensi serta posisi *inlet* (tempat masuk) dan *outlet* (tempat keluar) harus memperhitungkan perubahan (fluktuasi) ketinggian muka air pada sumber air.
- Umur pakai. Bangunan *intake* harus direncanakan dengan umur pakai (lifetime) minimal 25 tahun.
- Material. Bahan konstruksi diutamakan menggunakan material lokal atau disesuaikan dengan kondisi daerah sekitar.

Menurut Kawamura (2000), terdapat berbagai macam jenis bangunan pengambilan air (*intake*), yaitu:

1. Bangunan Penyadap Langsung (*Direct Intake*).

Jenis *intake* ini umumnya diterapkan pada sumber air yang memiliki kedalaman memadai, seperti sungai atau danau. Namun, perlu dicatat bahwa penggunaan *Direct Intake* berpotensi menyebabkan erosi pada bagian dinding struktur dan memicu penumpukan sedimen di dasar bangunan.

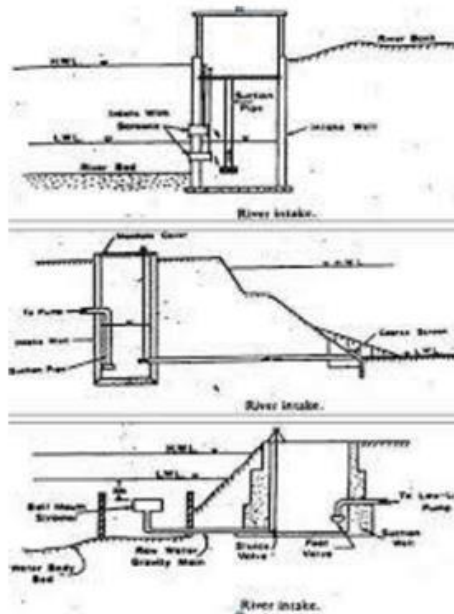


Gambar 2. 1 *Direct Intake*
(Sumber: Kawamura, 2000)

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

- a. *River Intake*

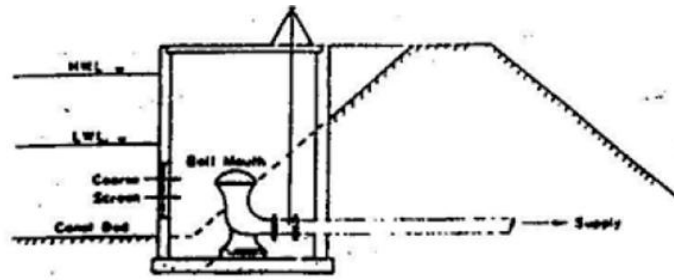
Tipe pengambilan air (*intake*) ini memanfaatkan sumur pengumpul yang dilengkapi dengan pipa penyadap untuk menarik air dari sumbernya. *Intake* jenis ini sering kali merupakan pilihan yang lebih hemat biaya (ekonomis), terutama ketika diaplikasikan pada sungai yang mengalami variasi signifikan pada ketinggian permukaan air antara musim hujan dan musim kemarau. Dengan memanfaatkan sumur dan pipa penyadap, sistem ini mampu beradaptasi dengan baik terhadap fluktuasi level air yang ekstrem. Hal ini memastikan bahwa pengambilan air dapat berlangsung secara kontinu dan efektif sepanjang tahun, tanpa memerlukan penyesuaian struktural yang mahal seperti yang dibutuhkan oleh bangunan *intake* permanen lainnya.



Gambar 2. 2 River Intake
(Sumber: Metcalf & Eddy et al, 2007)

b. *Canal Intake*

Jenis bangunan pengambilan air (*intake*) ini secara spesifik dirancang untuk digunakan pada sumber air buatan seperti kanal atau saluran air. Struktur *intake* ini umumnya berupa sebuah ruang penampung (*chamber*) yang memiliki bagian dinding yang terbuka atau terhubung langsung ke arah kanal. Fungsi utama *chamber* ini adalah sebagai titik awal pengambilan air sebelum dialirkan ke tahap pengolahan berikutnya. Air yang masuk ke dalam *chamber* ini kemudian disalurkan melalui pipa khusus untuk diteruskan ke instalasi pengolahan air (misalnya, IPA atau WTP). Dengan desain ini, *intake* kanal berfungsi sebagai titik transisi yang efisien untuk memindahkan air baku dari saluran distribusi buatan ke sistem pemurnian.

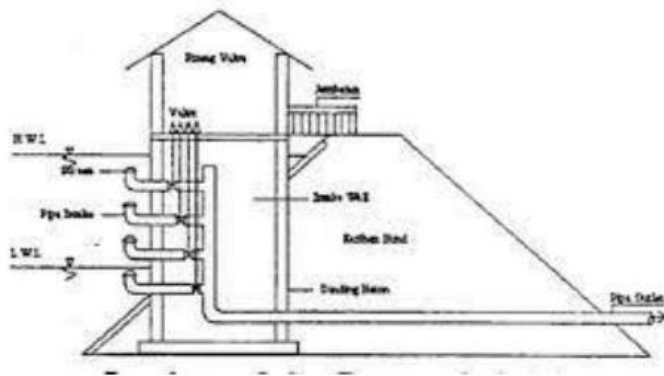


Gambar 2. 3 Canal Intake
(Sumber: Kawamura, 2000)

3. Reservoir Intake

Intake jenis ini digunakan secara khusus untuk mengambil air baku yang berasal dari bendungan atau waduk. Dalam konteks ini, struktur pengambilan air yang umum dan paling efisien digunakan adalah menara *intake* (*intake tower*). Menara *intake* dirancang dan dibangun sebagai struktur yang terpisah dari tubuh bendungan itu sendiri. Penempatannya biasanya berada di bagian hulu waduk.

Untuk memastikan pengambilan air dapat berlangsung secara optimal meskipun terjadi perubahan (fluktuasi) level muka air di waduk sepanjang tahun, menara *intake* dilengkapi dengan beberapa lubang masuk (*inlet*) yang diposisikan pada level ketinggian yang berbeda-beda. Melalui sistem *multi-level inlet* ini, operator dapat memilih pintu air mana yang akan dibuka. Dengan demikian, mereka dapat selalu mengambil air dari kedalaman yang paling sesuai, biasanya untuk mendapatkan air dengan kualitas terbaik. Misalnya, menghindari lapisan permukaan yang keruh atau lapisan dasar yang bersedimen.



Gambar 2. 4 *Reservoir Intake*
(Sumber: BPPSPAM. 2009)

Dalam perancangan sistem pengolahan air minum ini, diputuskan untuk menggunakan bangunan penyadap tidak langsung (*Indirect Intake*) dengan mengadopsi tipe *River Intake* (pengambilan air sungai). Tipe *River Intake* ini dinilai memiliki nilai keekonomisan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe *intake* lainnya, terutama untuk sumber air baku yang berasal dari sungai. Keunggulan ekonomis ini didasarkan pada karakteristik sungai yang memiliki perbedaan signifikan pada level muka air antara musim penghujan dan musim kemarau.

Desain *Indirect River Intake* mampu mengakomodasi fluktuasi air yang tinggi ini secara lebih efisien dan hemat biaya operasional. Sebagai langkah awal pengolahan, perancangan ini akan menyertakan saringan kasar (*coarse screen*). Fungsi utama dari *screen* ini adalah menghilangkan sampah padat berukuran besar yang terbawa oleh air, seperti kertas, plastik, kain, ranting, dan benda padat lainnya. Pemasangan *screen* sangat penting untuk melindungi komponen mekanis sistem, seperti pipa dan pompa, dari kerusakan dan penyumbatan. Pemilihan *coarse screen* dianggap tepat karena kemampuannya dalam menyaring dan menghilangkan benda-benda berukuran besar, yaitu yang memiliki dimensi antara 6 mm hingga 150 mm.

Tabel 2. 2 Koefisien Kekasaran *Pipa Hazen-Williams*

Jenis Pipa	Nilai Kekasaran Pipa (C)
<i>Extremely smooth and straight pipes</i>	140
<i>New steel or cast iron</i>	130
<i>Wood, Concrete</i>	120
<i>New Riveted Steel; vitrified</i>	110
<i>Old Cast Iron</i>	100
<i>Very Old and Corroded Cast Iron</i>	80

(Sumber: Evett & Liu, 1987)

Kehilangan energi pada sistem perpipaan tidak hanya dipengaruhi oleh gesekan sepanjang pipa, tetapi juga oleh keberadaan berbagai komponen seperti valve, fitting, dan sambungan khusus. Setiap komponen tersebut menimbulkan kehilangan energi minor yang besarnya dinyatakan dalam bentuk koefisien kehilangan energi (K).

Tabel 2. 3 Nilai K untuk Kehilangan Energi

<i>Valve, Fittings, and Specials</i>	<i>K value</i>
<i>Entrance, siction bell (32 in) 81 cm</i>	0,004
<i>90° elbow (24 in) 61 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (24 in) 61 cm</i>	0,19
<i>Reduce (14 in) 35,5 cm</i>	0,25
<i>Check valve (20 in) 51 cm</i>	2,5
<i>90° elbow (20 in) 51 cm</i>	0,3
<i>Gate valve (20 in) 51 cm</i>	0,19
<i>Tee (20 in x 20 in) 50 cm x 50 cm</i>	1,8

(Sumber: Qasim, 2000)

Tabel 2. 4 Faktor Minor Losses Bar

Bentuk Bar	Nilai Minor Losses (β)
<i>Shaped edge rectangular</i>	2,42
<i>Rectangular with semicircular up stream face circular</i>	2,83
<i>Circular</i>	1,79
<i>Rectangular with semicircular upstream and downstream face</i>	1,67
<i>Tear Shape</i>	0,76

(Sumber: Qasim, 2000)

Unit penyaringan (*screening*) merupakan tahap krusial dalam proses pengolahan, baik untuk air bersih maupun air limbah. Tujuannya adalah untuk menghilangkan padatan kasar yang berukuran relatif besar, umumnya lebih besar dari 0,5 cm hingga 1 cm. Padatan ini mencakup material seperti potongan kayu, bahan plastik, kain, dan sejenisnya. Tindakan penyaringan ini sangat penting agar material padat tersebut tidak mengganggu atau merusak proses dan peralatan dalam unit pengolahan air berikutnya.

Menurut Metcalf & Eddy et al. (2007), unit *screen* pada umumnya terbuat dari batangan besi atau baja yang telah dilapisi dengan material anti karat. Batangan ini dipasang pada kerangka melintang di dalam saluran air. Posisi pemasangan *screen* dibuat miring ke arah datangnya air (*inlet*), dengan sudut kemiringan antara 30° hingga 45° dari posisi horizontal. Kemiringan ini membantu proses penangkapan dan pembersihan material yang tersaring.

Seperti yang ditekankan oleh Metcalf & Eddy (2003), fungsi utama saringan kasar (*coarse screen*) adalah memberikan perlindungan terhadap komponen sistem yang rentan, seperti pompa, katup, saluran pipa, dan perlengkapan mekanis lainnya. Perlindungan ini memastikan peralatan tersebut tidak rusak atau tersumbat akibat kain atau benda-benda berukuran besar yang terbawa aliran air.

Unit penyaringan (*screening*), yang sering disebut sebagai saringan batang (*bar screen*), merupakan tahapan awal dalam pengolahan air—baik air bersih

maupun air limbah. Tujuannya yang paling mendasar adalah untuk mengeliminasi padatan kasar yang terbawa aliran, seperti potongan kayu, material plastik, kain, dan benda lain yang berukuran melebihi 0,5 cm hingga 1 cm (Metcalf & Eddy, 2003). Penghilangan material ini sangat krusial untuk mencegah gangguan pada proses dan kinerja unit-unit pengolahan air yang berada pada tahap selanjutnya. Peran utama dari *screening* mencakup tiga hal penting:

1. Melindungi Peralatan. Menghilangkan bahan-bahan kasar yang berpotensi merusak peralatan mekanis pada unit pengolahan berikutnya (seperti pompa dan katup).
2. Meningkatkan Kinerja. Mencegah padatan besar mengurangi kinerja dan efektivitas proses pengolahan secara keseluruhan.
3. Mencegah Pencemaran. Menghindari terjadinya pencemaran atau penyumbatan pada saluran air dan pipa.

Padatan yang berhasil disaring oleh *bar screen* akan secara rutin dipindahkan ke wadah penampung yang diletakkan di bagian belakang *screen*. Material yang terkumpul ini selanjutnya akan disimpan, dikeringkan, dan dipadatkan (diakumulasi) sebelum akhirnya dibawa untuk proses pembuangan akhir.

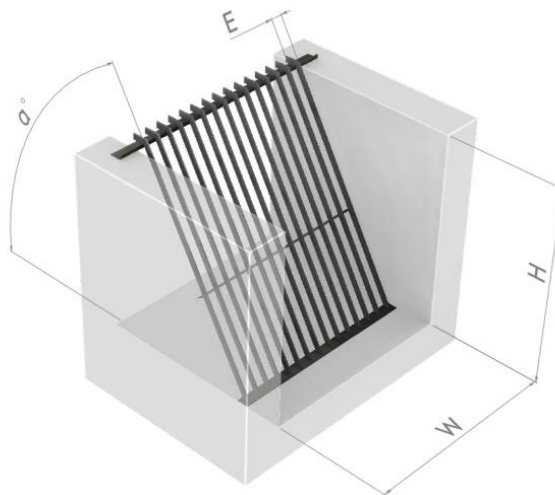
Unit penyaringan (*screening*) merupakan langkah pengolahan yang paling awal dan fundamental. Secara umum, saringan berfungsi untuk memisahkan benda-benda padat berukuran besar dari air baku, seperti kayu, kertas, plastik, dan sampah lainnya. Menurut Said (2007), saringan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama:

1. Saringan Kasar (*Coarse Screen*)
 - Saringan ini selalu diletakkan pada tahap paling awal dari proses pengolahan.
 - Tipe yang umum digunakan termasuk rak batang (*bar rack*) atau saringan batang (*bar screen*), saringan kawat kasar (*coarse woven-wire screen*), dan alat penghancur (*communitor*).
2. Saringan Halus (*Fine Screen*)
 - Memiliki bukaan yang lebih kecil, yaitu antara 2,3 mm hingga 6 mm.
 - Proses pembersihannya biasanya dilakukan secara mekanis.

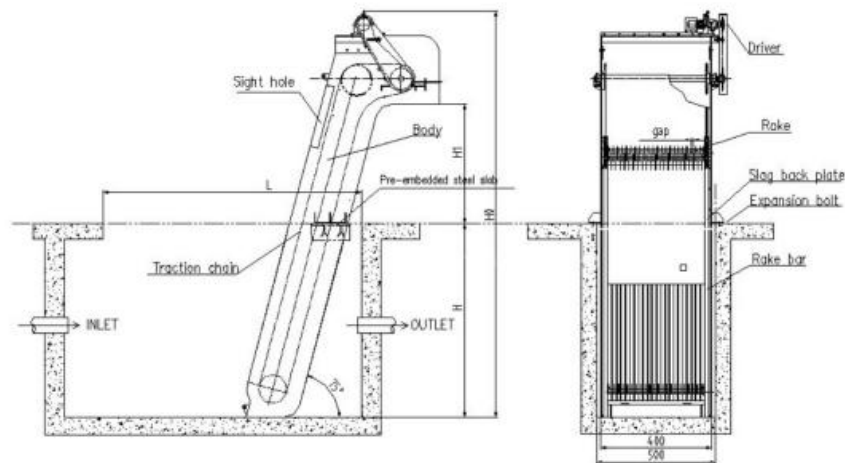
- Beberapa tipe saringan yang sangat halus (*very fine screen*) bahkan telah dikembangkan untuk digunakan dalam tahap pengolahan sekunder.

Dalam merancang saringan batang (*bar screen*), terdapat beberapa kriteria teknis penting yang harus diperhatikan, antara lain:

- Kecepatan dan kapasitas rencana. Menentukan volume air maksimum yang mampu ditangani oleh unit per waktu.
- Jarak antar bar. Jarak bersih antara batang saringan, yang menentukan ukuran minimum padatan yang dapat lolos.
- Ukuran bar (batang). Dimensi fisik batang saringan yang mempengaruhi kekuatan struktural.
- Sudut inklinasi. Sudut kemiringan pemasangan saringan (misalnya, 30° hingga 45° dari horizontal), yang mempengaruhi efisiensi penangkapan sampah dan kehilangan tekanan (*headloss*).
- Kehilangan tekanan (*headloss*) yang diperbolehkan. Batas maksimum penurunan tekanan hidrolik akibat hambatan saringan, yang harus dipertahankan agar aliran air tetap optimal.



Gambar 2. 5 Manual Bar Screen
(Sumber: <https://www.indiamart.com>)



Gambar 2. 6 Mechanical Bar Screen
(Sumber: <https://www.hollyep.com>)

Perencanaan saringan kasar memerlukan kriteria desain tertentu agar unit dapat berfungsi secara optimal.

Tabel 2. 5 Kriteria Perencanaan Saringan Kasar

Kriteria Desain	Manual	<i>Mechanical</i>
Kecepatan aliran (m/s)	0,3-0,6	0,6-1,0
Ukuran <i>bar</i> : - Lebar (mm) - Tebal (mm)	4-8 25-50	8-10 50-75
Jarak antar <i>bar</i> (mm)	25-75	75-85
<i>Slope</i> (derajat)	45-60	75-85
<i>Headloss</i> yang diperbolehkan (mm) <i>Headloss</i> maksimum (mm)	150 800	150 800

(Sumber: Nusa Idaman Said, 2007)

2.3.2 Bak Pengumpul

Bak pengumpul berfungsi sebagai unit penampungan sementara yang memfasilitasi penyisihan awal padatan kasar melalui mekanisme pengendapan (Metcalf & Eddy et al., 2007). Selain fungsi fisik tersebut, unit ini memegang peranan vital dalam manajemen hidrolis, yakni meredam fluktuasi debit untuk menjamin kestabilan aliran menuju tahap pengolahan berikutnya. Dalam

operasionalnya, air baku dari sungai akan dialirkan masuk ke dalam bak ini, kemudian debit keluarannya diatur secara presisi agar sesuai dengan kriteria beban desain pada unit operasi selanjutnya.

2.3.3 Prasedimentasi

Dalam rangkaian bangunan pengolahan air minum, prasedimentasi ditempatkan sebagai unit pendahuluan untuk mengeliminasi material kasar dan padatan diskrit seperti pasir dan kerikil yang terbawa dari badan air sungai. Keberhasilan mekanisme penyisihan partikel pada unit ini ditentukan oleh sejumlah faktor desain, antara lain *overflow rate*, kecepatan aliran horizontal (vh), dan karakteristik aliran yang ditunjukkan oleh bilangan Reynolds (Reynolds & Richards, 1996). Bentuk unit prasedimentasi yang umum digunakan adalah *rectangular* dan *circular* yang beroperasi melalui empat kompartemen fungsional (Qasim et al., 2000). Aliran air mula-mula didistribusikan secara merata di zona *inlet* untuk mencapai kondisi laminar sebelum memasuki zona pengendapan, tempat terjadinya pemisahan partikel secara gravitasi. Material yang terpisah akan terkonsentrasi di zona lumpur, sementara air bersih akan dialirkan keluar melalui zona *outlet* yang didesain untuk mencegah tergerusnya kembali endapan. Sebagai acuan dalam menentukan dimensi dan kapasitas unit tersebut, dapat digunakan basis data desain tipikal sebagaimana disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 6 Kriteria Perencanaan Prasedimentasi

<i>Item</i>	<i>U.S. customary units</i>			<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>
<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	800-1.200	1.000	m ³ /m ² .d	30-50	40
<i>Peak hourly flow</i>	gal/ft ² .d	2.000-3.000	2.500	m ³ /m ² .d	80-120	100

<i>Item</i>	<i>U.S. customary units</i>			<i>SI Units</i>		
	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>	<i>Unit</i>	<i>Range</i>	<i>Typical</i>
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² .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	1.200-1.700	1.500	m ³ /m ² .d	48-70	60
<i>Weir Loading</i>	gal/ft ² .d	10.000-40.000	20.000	m ³ /m ² .d	125-500	250

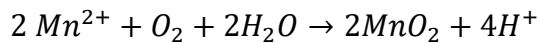
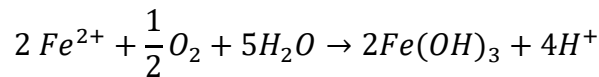
(Sumber: Metcalf & Eddy et al., 2003, Hal 398)

2.3.4 Netralisasi

Netralisasi didefinisikan sebagai reaksi kimia antara asam dan basa yang menghasilkan produk berupa garam dan air, berdampak pada penyesuaian derajat keasaman (pH) larutan. Tahapan ini dinilai esensial karena kondisi pH yang terlalu rendah berpotensi memicu korosivitas yang dapat merusak komponen mekanikal instalasi pengolahan (Ismail et al., 2024). Selain berfungsi sebagai proteksi aset, netralisasi bertujuan menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif bagi optimalisasi unit operasi selanjutnya, seperti oksidasi dan koagulasi-flokulasi. Lebih jauh, Kiswanto et al. (2019) menekankan bahwa keluaran dari proses ini harus memenuhi baku mutu air minum dengan rentang pH 6–8,5. Adapun reagen kimia yang umum diaplikasikan untuk menaikkan pH meliputi soda abu (NaHCO₃), kapur tohor (CaO), kapur padam (Ca(OH)₂), batu kapur (CaCO₃), serta natrium hidroksida (NaOH).

2.3.5 Aerasi

Aerasi didefinisikan sebagai unit operasi gas-transfer yang bertujuan melarutkan oksigen dari atmosfer ke dalam air melalui kontak antarmuka yang intensif. Secara teknis, mekanisme ini dilakukan dengan dua metode utama, yaitu menyembrotkan air ke udara atau menginjeksikan gelembung udara halus ke dalam kolom air menggunakan alat aerator untuk memperluas luas permukaan kontak (Droste, 1997). Tingginya kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) yang dihasilkan dari proses ini kemudian memicu perubahan pada parameter kimia anorganik. Sebagaimana dijelaskan oleh Droste (1997), aerasi memfasilitasi oksidasi logam terlarut seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) menjadi presipitasi tak larut yang kemudian dapat disisihkan pada unit sedimentasi dan filtrasi. Reaksi oksidasi besi dan mangan yang terjadi selama proses aerasi dapat dituliskan sebagai berikut:



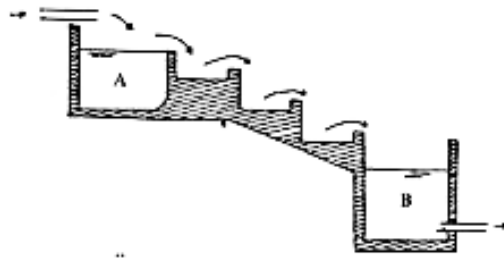
Selain oksidasi logam, proses ini juga bertujuan untuk menyisihkan gas-gas terlarut seperti karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), metana (CH₄), serta senyawa organik volatil penyebab bau dan rasa. Dari aspek biologis, keberadaan oksigen esensial untuk mendukung aktivitas mikroorganisme pengurai. Berdasarkan studi Eko (2018), aerasi terbukti efektif menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Penurunan ini terjadi karena suplai oksigen memicu laju oksidasi biologi oleh mikroba, sehingga materi organik dalam air dapat terdegradasi secara lebih optimal (Eko, 2018). Berbagai metode aerasi dapat diaplikasikan sesuai kebutuhan desain, sebagaimana diklasifikasikan oleh Rahmawati (2010) sebagai berikut.

a. *Cascade Aerator*

Metode ini memanfaatkan prinsip gravitasi di mana air dialirkan menuruni struktur bertingkat yang terdiri dari 4–6 undakan setinggi ± 30 cm per undakannya. Desain ini umumnya beroperasi pada kapasitas aliran sekitar 0,01 m³/detik.m². Guna meningkatkan efisiensi aerasi, struktur seringkali

dilengkapi dengan hambatan di tepi undakan untuk mengatur pola aliran air. *Cascade aerator* memiliki kelebihan signifikan dibandingkan *tray aerator* pada rendahnya total kehilangan tekanan dan minimnya kebutuhan perawatan. Akan tetapi, konsekuensi dari desain ini adalah kebutuhan dimensi ruang atau lahan yang relatif lebih besar untuk kapasitas pengolahan yang sama (Rahmawati, 2010).

Cascade Aerator



Gambar 2. 7 *Cascade Aerator*
(Sumber: Rahmawati, 2010)

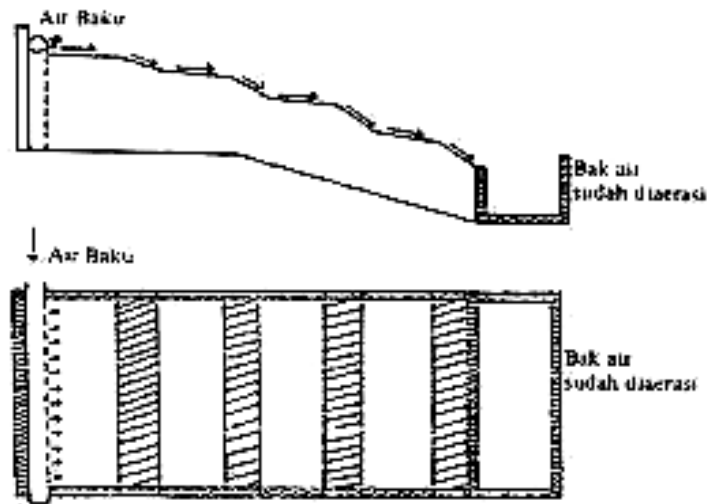
Keterangan:

A = Air baku

B = Air sudah teraerasi

b. *Submerged Cascade Aerator*

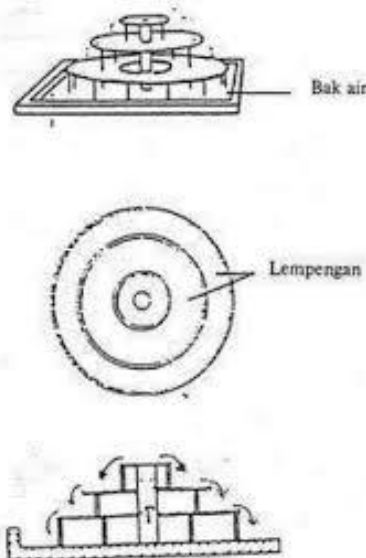
Prinsip kerja aerator tipe ini mengandalkan mekanisme terjunan air melewati serangkaian pelat bertingkat untuk menciptakan turbulensi. Proses aerasi terjadi melalui fenomena penangkapan udara saat air jatuh dari setiap undakan, yang menghasilkan gelembung-gelembung udara di dalam badan air. Selanjutnya, terjadi difusi oksigen dari fase gas ke dalam fase cair. Dalam perancangannya, unit ini umumnya memiliki total ketinggian jatuh sekitar 1,5 meter yang didistribusikan ke dalam 3 hingga 5 tingkatan. Adapun kapasitas beban hidrolis yang dapat ditampung oleh unit ini bervariasi dalam rentang 0,005 hingga 0,5 m³/detik.m² (Rahmawati, 2010).



Gambar 2. 8 Submerged Cascade Aerator
(Sumber: Rahmawati, 2010)

c. *Multiple Platform Aerator*

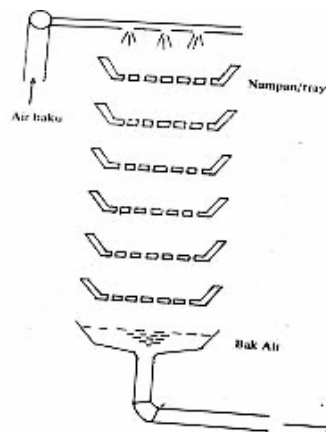
Unit ini mengadopsi prinsip kerja sistem aerasi gravitasi lainnya. Mekanisme utamanya memanfaatkan susunan lempengan atau *platform* untuk memecah aliran air melalui gaya gravitasi. Desain ini bertujuan untuk menciptakan area kontak yang komprehensif antara fase cair dan gas, sehingga transfer oksigen dapat berlangsung secara optimal saat air terjun dari satu platform ke platform lainnya.



Gambar 2. 9 Multiple Platform Aerator
(Sumber: Rahmawati, 2010)

d. *Multiple Tray Aerator*

Unit aerasi tipe *multiple tray* beroperasi menggunakan prinsip terjunan air yang memiliki keunggulan berupa desain konstruksi sederhana, biaya investasi rendah, serta efisiensi penggunaan lahan. Secara spesifikasi, aerator ini tersusun secara vertikal yang terdiri atas 4 hingga 8 *tray* dengan dasar berlubang. Jarak vertikal antar *tray* umumnya diatur pada rentang 30–50 cm. Mekanisme aerasi dimulai dari pipa distribusi di bagian paling atas yang memecah aliran air menjadi butiran halus. Air kemudian menetes ke bawah dengan laju pembebanan hidrolis sekitar $0,02 \text{ m}^3/\text{detik.m}^2$. Tetesan air tersebut akan menyebar, berkontak dengan udara, dan dikumpulkan kembali pada *tray* di bawahnya secara berulang. Material konstruksi untuk *tray* dapat disesuaikan dengan ketersediaan bahan, seperti penggunaan pipa plastik berdiameter kecil, susunan bilah kayu paralel, ataupun lembaran semen asbes berlubang (Rahmawati, 2010).

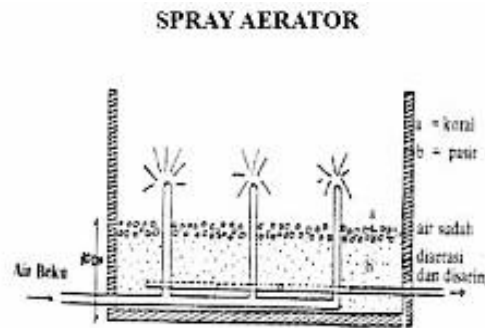


Gambar 2. 10 *Multiple Tray Aerator*
(Sumber: Rahmawati, 2010)

e. *Spray Aerator*

Unit *spray aerator* beroperasi dengan mekanisme penyemprotan air ke udara menggunakan serangkaian *nozzle* stasioner yang terhubung pada jaringan pipa distribusi. Untuk mencapai efisiensi transfer gas yang optimal, air disemprotkan dengan kecepatan laju alir berkisar antara 5 hingga 7 m/detik. Salah satu konfigurasi desain sederhana menerapkan sistem aliran ke bawah. Pada desain ini, air dialirkan melalui pipa pendek (panjang 25

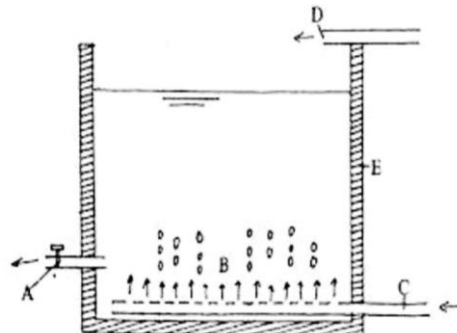
cm, diameter 15–20 mm) yang diarahkan langsung ke piringan deflektor melingkar yang berjarak beberapa sentimeter di bawah ujung pipa. Tumbukan air pada piringan ini akan membentuk lapisan film tipis yang teratomisasi menjadi butiran-butiran halus. Selain tipe stasioner, terdapat pula variasi desain yang menggunakan *nozzle* berputar untuk memperluas jangkauan sebaran air (Rahmawati, 2010).



Gambar 2. 11 *Spray Aerator*
(Sumber: Rahmawati, 2010)

f. *Bubble Aerator*

Metode ini beroperasi dengan prinsip injeksi udara yang disemprotkan melalui *diffuser* pada dasar bak aerasi. Salah satu karakteristik teknis utama dari sistem ini adalah efisiensi penggunaannya yang relatif rendah/hemat. Secara tipikal, rasio kebutuhan udara yang diperlukan tidak melebihi kisaran 0,3 hingga 0,5 m³ udara per m³ air baku. Selain itu, sistem ini menawarkan fleksibilitas operasional, di mana volume suplai udara dapat ditingkatkan dengan mudah melalui mekanisme penyedotan atau pengaturan *intake* udara (Rahmawati, 2010).



Gambar 2. 12 *Bubble Aerator*
(Sumber: Rahmawati, 2010)

Keterangan:

A = *Outlet*

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang untuk udara

E = Bak air

Tabel 2. 7 Desain dan Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
<i>Cascade</i>	20-45% CO ₂	Tinggi: 1-3 m Luas: 85-105 m ² /m ² .det
<i>Packing Tower Tray</i>	> 95% VOC >90% CO ₂ >90% CO ₂	Kecepatan aliran: 0,3 m/det Diameter kolom maksimum: 3 m Beban hidrolik: 2.000 m ³ /m ² .hari Kecepatan: 0,8-1,5 m ³ /m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ³ air
<i>Spray aerator</i>	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	Jarak rak: 30-75 cm Luas: 50-160 m ² /m ³ .det Tinggi: 1,2-9 m Diameter <i>nozzle</i> : 0,6-3,6 m Debit <i>nozzle</i> : 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 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman: <2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang <i>diffuser</i> : 2-5 mm
Aerator mekanik	70-90% CO ₂ 25-40% H ₂ S	Waktu detensi: 10-30 menit Kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim et al., 2000)

2.3.6 Koagulasi

Koagulasi didefinisikan sebagai unit proses yang bertujuan untuk mendestabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi, termasuk mikroorganisme patogen seperti bakteri dan virus. Proses ini diawali dengan pembubuhan bahan kimia koagulan ke dalam air baku. Mekanisme utama koagulasi terjadi melalui

interaksi muatan listrik, dimana partikel koloid yang umumnya bermuatan negatif akan dinetralkan oleh koagulan yang bertindak sebagai donor muatan positif (Pulungan, 2012). Akibat adanya netralisasi muatan ini, gaya tolak-menolak antar partikel meredam, sehingga memungkinkan partikel-partikel tersebut saling bergabung membentuk gumpalan halus yang memiliki berat jenis lebih besar agar dapat diendapkan (Pulungan, 2012). Beberapa jenis koagulan yang umum digunakan sebagai berikut.

Bahan kimia yang biasanya dipakai untuk proses koagulasi umumnya dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan dipakai untuk menggumpalkan partikel yang tersuspensi, zat warna, koloid dan lain-lain agar membentuk gumpalan partikel yang besar (flok). Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan berfungsi untuk mengatur pH agar kondisi air baku dapat menunjang proses flokulasi, serta membantu agar pembentukan flok dapat berjalan lebih efisien (Said, 2017). Beberapa macam koagulan yang sering digunakan dalam proses penjernihan air adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC), *Aluminium Sulfat* ($Al_2(SO_4)_3$), *Ferri Klorida* ($FeCl_3$), dan *Ferri Sulfat* ($Fe_2(SO_4)_3$).

Aluminium sulfat adalah senyawa yang berfasa padat dengan nama lain alum (tawas) yang merupakan produk buatan berbentuk bubuk atau kristal berwarna putih dan biasa digunakan sebagai koagulan dalam proses penjernihan air (Mursitaningrum dkk., 2024). Koagulan alum efektif dalam pengolahan air minum karena mampu menghilangkan kekeruhan dan partikel-partikel halus dalam air.

Tabel 2. 8 Jenis Koagulan

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
Aluminium sulfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot X H_2O$ x = 14, 16, 18	Bongkah, bubuk	Asam	6,0-7,8
<i>Sodium aluminate</i>	$Na_2Al_2O_4$	Bubuk	Basa	6,0-7,8
<i>Polualuminium Chloride</i> , PAC	$Al_n(OH)_mCl_{12-n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0-7,8

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan Air	pH Optimum
<i>Ferric sulfate</i>	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	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)

Korelasi antara penambahan dosis koagulan dan penurunan kekeruhan tidak selalu bersifat linear. Oleh karena itu, estimasi dosis tidak dapat hanya didasarkan pada nilai kekeruhan awal semata, melainkan harus divalidasi melalui uji simulasi pengolahan dengan *jar test*. Karakteristik partikel sangat menentukan kebutuhan kimia, seperti air dengan dominasi lumpur kasar umumnya membutuhkan dosis koagulan yang relatif rendah, berbeda dengan air yang didominasi oleh partikel koloid yang memerlukan dosis lebih tinggi untuk destabilisasi.

Secara spesifik, Patimah (2009) menguraikan lima faktor fundamental yang mempengaruhi efisiensi koagulasi:

1. Derajat Keasaman (pH)

Setiap jenis koagulan memiliki rentang pH optimum spesifik (umumnya 6–9) untuk mencegah kelarutan kembali koagulan dan memastikan pembentukan flok yang efektif.

2. Temperatur

Penurunan temperatur air berdampak pada peningkatan viskositas fluida dan melambatnya laju reaksi kimia, sehingga dapat menghambat proses sedimentasi flok.

3. Dosis Koagulan

Kebutuhan dosis berbanding lurus dengan beban kekeruhan koloid. Namun, penentuan dosis harus presisi, dosis yang berlebih justru dapat memicu fenomena restabilisasi partikel, mengakibatkan kenaikan nilai kekeruhan kembali.

4. Intensitas Pengadukan

Pengadukan berfungsi menyuplai energi untuk mendistribusikan koagulan dan memfasilitasi tumbukan antar-partikel. Air dengan tingkat kekeruhan rendah justru memerlukan intensitas pengadukan yang lebih tinggi guna meningkatkan probabilitas tumbukan antar partikel yang jarang.

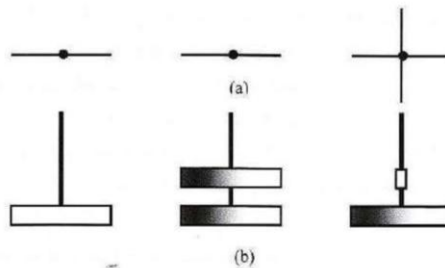
5. Alkalinitas

Keberadaan ion garam mempengaruhi kestabilan koloid. Sesuai aturan *Schulze-Hardy*, semakin tinggi valensi ion, semakin signifikan pengaruhnya terhadap koagulasi. Khusus untuk koagulan berbasis besi (Fe) dan aluminium (Al), keberadaan anion lebih berpengaruh signifikan dibandingkan kation seperti Natrium, Kalsium, atau Magnesium.

Secara operasional, proses koagulasi atau pengadukan cepat dapat direalisasikan melalui tiga metode utama, yakni: pengadukan mekanis (*mechanical mixing*), hidrolis (*hydraulic jump/fall*), dan pneumatik (*air injection*). Dengan rincian sebagai berikut.

1. Pengadukan Mekanis

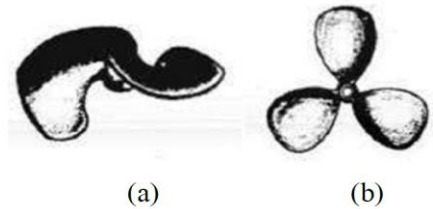
Pengadukan mekanis dirancang untuk menciptakan turbulensi tinggi dalam durasi singkat di dalam bak pencampur. Unit ini terdiri dari komponen motor listrik, poros transmisi (*shaft*), dan *impeller*. Terdapat tiga varian *impeller* yang umum digunakan, yaitu tipe *paddle*, *turbine*, dan *propeller*. Performa unit ini dievaluasi berdasarkan dua parameter utama yaitu nilai Gradien Kecepatan (G) untuk intensitas adukan dan waktu tinggal (td).



Gambar 2. 13 Tipe *Paddle* (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 14 Tipe Turbin
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)



Gambar 2. 15 Tipe Propeller (a) 2 Blade (b) 3 Blade
(Sumber: Ali Masduqi, 2016)

Tabel 2. 9 Jenis Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Ket
<i>Paddle</i>	20-150 rpm	Diameter: 50-60% lebar bak Lebar: $1/6 - 1/10$ diameter <i>paddle</i>	
<i>Turbine</i>	10-150 rpm	Diameter: 30-50% lebar bak	
<i>Propeller</i>	400-1750 rpm	Diameter: maks. 45 cm	Jumlah <i>pitch</i> 1-2 buah

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996, Hal 185)

Tabel 2. 10 Waktu Pengadukan Mekanis dan Gradien Kecepatan

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

(Sumber: Reynolds & Richards, 1996, Hal 184)

Tabel 2.10 Nilai Konstanta K_L dan K_T untuk Tangki Bersekat yang Memiliki Empat Sekat pada Dinding Tangki dengan Lebar Sekat 10% Diameter Tangki

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

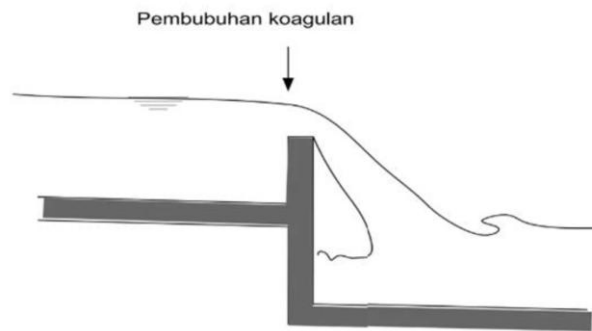
(Sumber: Reynolds & Richards, 1996, Hal 188)

2. Pengadukan Hidrolis

Pengadukan hidrolis merupakan metode pencampuran yang mensubstitusi energi mekanis dengan pemanfaatan energi aliran air. Mekanisme ini mengkonversi energi hidrolik, baik yang bersumber dari gesekan aliran, energi potensial, maupun fenomena lompatan hidrolis menjadi tenaga pengadukan (Zuliana, 2012). Dalam aplikasinya pada unit pengadukan cepat, desain hidrolis difokuskan untuk menghasilkan disipasi energi yang besar. Indikator utamanya terlihat dari tingginya nilai kehilangan tekanan (*headloss*) atau perbedaan elevasi muka air yang signifikan. Kondisi ini diperlukan untuk menciptakan turbulensi intensif guna mendispersikan koagulan. Contoh bangunan yang menerapkan prinsip ini antara lain

terjunan air (*hydraulic drop*), loncatan hidrolis (*hydraulic jump*), dan alat ukur debit tipe *Parshall Flume*.

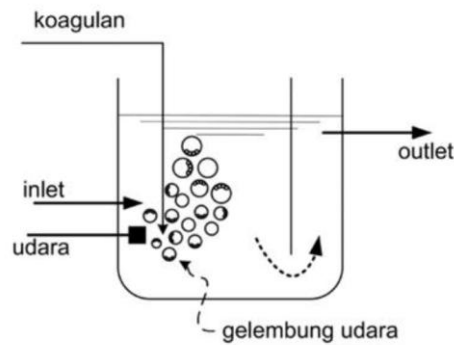
Sebaliknya, pada unit pengadukan lambat, energi hidrolik dikondisikan pada tingkat yang jauh lebih rendah. Aliran air direkayasa agar relatif tenang untuk meminimalkan turbulensi geser, sehingga flok yang telah terbentuk tidak pecah kembali. Beberapa konfigurasi desain yang umum digunakan untuk tujuan ini adalah kanal bersekat (*baffled channel*), dinding berlubang (*perforated wall*), serta media butiran kasar (*gravel bed*).



Gambar 2. 16 Pengadukan Cepat dengan Terjunan
(Sumber: Zuliana, 2012)

3. Pengadukan Pneumatik

Metode ini memanfaatkan injeksi udara sebagai sumber energi utama untuk menciptakan agitasi. Secara mekanis, gelembung udara yang disuplai ke dalam air akan bergerak naik ke permukaan, dan pergerakan inilah yang menginduksi aliran serta turbulensi pada fluida (Zuliana, 2012). Dalam aplikasinya untuk pengadukan cepat, spesifikasi tekanan udara memegang peranan vital. Udara harus diinjeksikan dengan tekanan yang cukup besar agar mampu menghasilkan gaya dorong yang kuat terhadap massa air. Terdapat korelasi positif dalam mekanisme ini, di mana semakin tinggi tekanan udara yang diberikan, semakin tinggi kecepatan luncur gelembung udara, sehingga menghasilkan intensitas turbulensi yang semakin besar untuk mendispersikan koagulan (Zuliana, 2012).



Gambar 2. 17 Pengadukan Cepat Secara Pneumatik
(Sumber: Zuliana, 2012)

2.3.7 Flokulasi

Flokulasi didefinisikan sebagai proses aglomerasi lanjutan di mana mikroflok yang telah terbentuk pada tahap koagulasi saling bergabung membentuk makroflok dengan ukuran dan berat jenis yang lebih besar agar mudah diendapkan. Merujuk pada Marsono (2002), interaksi antar-partikel dalam proses ini terjadi melalui tiga mekanisme utama:

1. Gerak Termal (*Thermal Motion*): Dikenal juga sebagai Gerak Brown atau difusi, yang memicu terjadinya Flokulasi Perikinetik.
2. Gerakan Cairan (Agitasi): Disebabkan oleh pengadukan mekanis atau hidrolis, sering disebut sebagai Flokulasi Ortokinetik.
3. Pengendapan Diferensial: Kontak yang terjadi akibat perbedaan kecepatan endap antar partikel (*Differential Settling*).

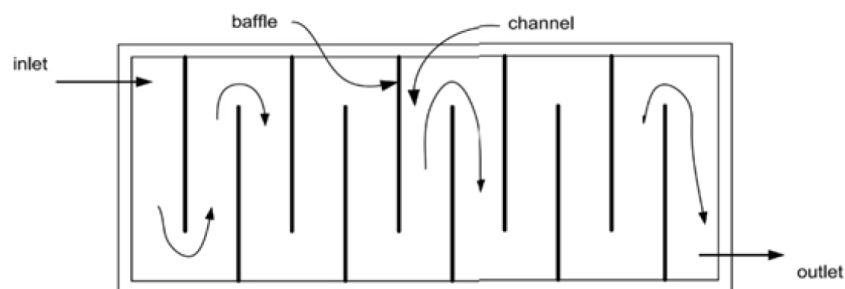
Secara operasional, proses ini menggunakan metode pengadukan lambat. Tujuannya adalah memfasilitasi kontak antar partikel flok tanpa menimbulkan gaya geser berlebih yang dapat memecahkan kembali flok yang telah terbentuk. Kriteria desain untuk pengadukan lambat umumnya mensyaratkan nilai Gradien Kecepatan (G) yang rendah, berkisar antara 20 hingga 100 s^{-1} , dengan waktu detensi (td) selama 10 sampai 60 menit. Nilai bilangan *Camp* (Gtd) yang direkomendasikan berada pada rentang 48.000 hingga 210.000. Dalam praktiknya, sering diterapkan strategi penurunan nilai G secara bertahap (*tapered flocculation*) dari *inlet* menuju *outlet*. Hal ini bertujuan untuk mengakomodasi pertumbuhan flok yang semakin

besar dan rentan pecah seiring berjalannya proses (Masduqi & Assomadi, 2012). Berikut beberapa nilai G dan Td untuk unit flokulasi.

Tabel 2. 11 Nilai G dan Td unit Flokulasi

No.	Aplikasi	Waktu Detensi (td)	Gradien Kecepatan (G)	Keterangan Tambahan
1.	Air sungai	Minimum 20 menit	10-100 /detik	-
2.	Air waduk	30 menit	10-75 /detik	-
3.	Air keruh	Lebih rendah	Lebih rendah	Dibandingkan kondisi normal
4.	Penggunaan koagulan garam besi	-	Maksimum 50 /detik	G tidak boleh lebih dari 50
5.	Flokulator terdiri atas 3 komponen	-	• Kompartemen 1: nilai terbesar • Kompartemen 2: 40% dari G kompartemen 1 • Kompartemen 3: nilai terkecil	-
6.	Penurunan kesadahan	30 menit	10-50 /detik	-
7.	Presipitasi kimia (fosfat, logam berat, dll.)	15-30 menit	20-75 /detik	Nilai Gtd berkisar 10.000-100.000

(Masduqi & Assomadi, 2012)



Gambar 2. 18 Pengadukan Lambat dengan *Baffled Channel*
(Sumber: Zuliana, 2012)

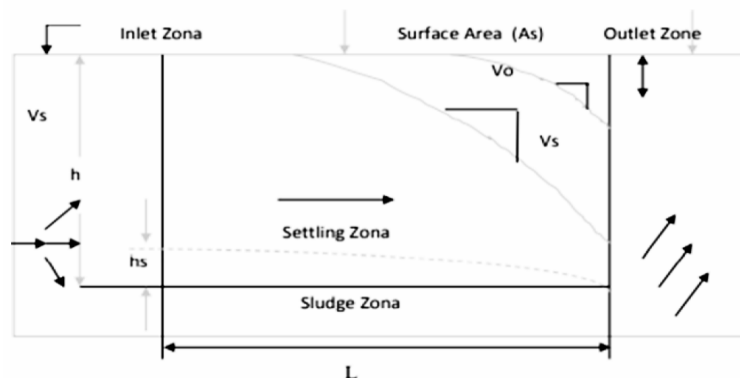
2.3.8 Sedimentasi

Sedimentasi didefinisikan sebagai unit operasi pemisahan padatan dan cairan yang memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengendapkan partikel tersuspensi. Dalam sistem penyediaan air minum, unit ini memegang peranan fundamental. Aplikasinya sangat luas, mulai dari tahap pengolahan awal air permukaan sebelum memasuki unit filtrasi pasir cepat, hingga pengolahan air pasca-prasedimentasi. Selain itu, sedimentasi juga diterapkan untuk menyisihkan presipitat hasil reaksi kimia, baik pada proses pembubuhan koagulan maupun pada instalasi penyisihan logam besi dan mangan.

Secara teoritis, mekanisme pengendapan di dalam bak sedimentasi diklasifikasikan menjadi empat bagian berdasarkan konsentrasi partikel dan kecenderungan interaksi antar-partikelnya. Keempat klasifikasi tersebut meliputi:

1. Tipe I (*Free Settling*): Pengendapan partikel diskrit tanpa interferensi.
2. Tipe II (*Flocculant Settling*): Pengendapan partikel yang mengalami flokulasi (penggabungan) selama proses turun.
3. Tipe III (*Hindered/Zone Settling*): Pengendapan massa partikel dengan konsentrasi tinggi yang tertahan oleh partikel di sekitarnya.
4. Tipe IV (*Compression Settling*): Pengendapan yang terjadi akibat kompresi beban partikel di atasnya.

Dari segi desain hidrolis, sebuah bak sedimentasi ideal terbagi menjadi empat zona fungsional utama, yakni *Zona Inlet*, *Settling*, *Sludge*, dan *Outlet*. Konfigurasi zonasi tersebut dapat dilihat pada ilustrasi berikut.



Gambar 2. 19 Zona pada Bak Sedimentasi
(Sumber: Al Layla, 1980)

Secara umum, unit sedimentasi diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan geometri bangunannya:

1. Bak Persegi Panjang (*Rectangular Tank*)

Pada tipe ini, keseragaman distribusi aliran di zona *inlet* merupakan parameter kritis untuk mencegah terjadinya aliran pendek. Menurut Metcalf & Eddy (2004), terdapat tiga variasi desain *inlet* yang umum diaplikasikan untuk menjamin distribusi aliran yang merata, yaitu:

- a. Saluran inlet terbuka yang dilengkapi dengan pelimpah (*weir*);
- b. Saluran distribusi tertutup dengan sistem *ports* atau *orifice* terendam;
- c. Saluran *inlet* bukaan lebar yang dikombinasikan dengan sekat berlubang.

2. Bak Lingkaran (*Circular Tank*)

Unit ini beroperasi dengan pola aliran radial, di mana air baku masuk melalui sumur distribusi pusat (*center feed well*) dan mengalir ke arah dinding luar. Sumur distribusi ini didesain khusus untuk meratakan aliran ke seluruh penjuru tangki sekaligus meredam energi tangensial arus masuk. Berdasarkan standar desain Metcalf & Eddy (2004), dimensi *feed well* umumnya berkisar antara 15% hingga 20% dari total diameter tangki, dengan rentang fisik antara 1,0 hingga 2,5 meter.

Kriteria perencanaan dimensi bak sedimentasi ditentukan berdasarkan parameter hidrolis utama, yang meliputi beban permukaan (*Surface Loading Rate*), kedalaman efektif bak, dan waktu detensi hidrolis (*Hydraulic Retention Time*). Sebagaimana didefinisikan oleh Metcalf & Eddy (2003), waktu detensi merupakan durasi teoritis yang diperlukan untuk mengisi penuh volume bak dengan asumsi debit aliran rata-rata harian yang konstan.

2.3.9 Filtrasi

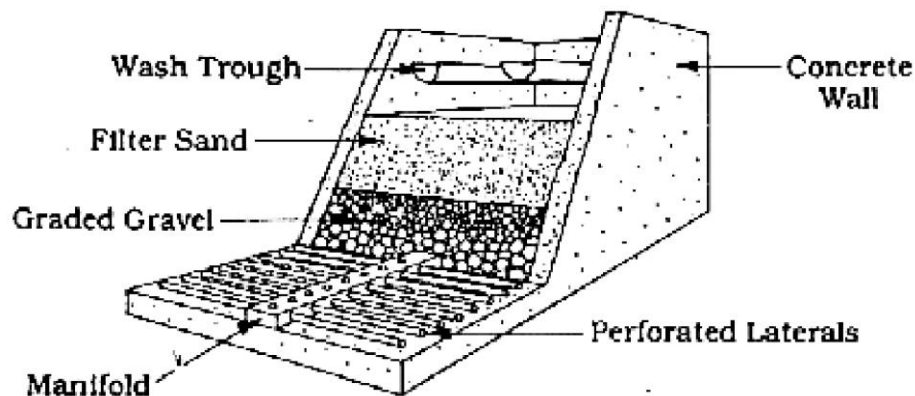
Proses sedimentasi semata tidak cukup untuk menyisihkan seluruh partikel tersuspensi dan koloid secara sempurna (Al-Layla, 1978). Oleh karena itu, unit filtrasi diperlukan sebagai tahap penyempurnaan untuk meningkatkan kualitas efluen. Filtrasi didefinisikan sebagai proses melewatkan air melalui media berpori

seperti pasir dan kerikil guna mereduksi polutan fisik seperti partikel halus, serta polutan kimiawi seperti warna, bau, rasa, hingga kadar besi dan mangan.

Efektivitas filtrasi melibatkan interaksi kompleks antara proses fisik, kimia, dan biologis. Secara spesifik, terdapat beberapa mekanisme yang berkontribusi terhadap penyisihan polutan di dalam filter media, antara lain:

1. Penyaringan mekanis pada permukaan media;
2. Sedimentasi internal di antara celah butiran media;
3. Kontak fisik antara flok dengan media kerikil atau flok yang telah terendapkan sebelumnya;
4. Mekanisme adsorpsi dan gaya elektrokinetik;
5. Flokulasi di dalam media filter;
6. Aktivitas biologis mikroorganisme; serta
7. Agregasi atau penggabungan partikel koloid.

Secara operasional, partikel berukuran besar akan tertahan di permukaan pasir, sementara partikel halus seperti koloid dan bakteri akan menembus masuk dan terperangkap di kedalaman media atau pada zona kerikil penyangga (*gravel bed*).



Gambar 2. 20 Bagian-bagian Unit Filtrasi
(Sumber: Reynold& Richards, 1996)

Teknologi filtrasi berkembang memiliki berbagai jenis, seperti *Rapid Sand Filter*, *Slow Sand Filter*, *Pressure Filter*, *Multi-media Filter*, dan sebagainya.

a. Saringan Pasir Cepat (*Rapid Sand Filter* - RSF)

RSF dirancang dengan kecepatan filtrasi tinggi, umumnya berkisar 4–5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$, bahkan dapat melampaui 6 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ (Al-Layla, 1978).

Konstruksi media pada RSF umumnya terdiri dari lapisan kerikil penyangga setebal 38–60 cm di bagian bawah, dan lapisan pasir setebal $\pm$ 80 cm di bagian atas dengan ukuran efektif pasir 0,45–0,55 mm. Keunggulan utama RSF meliputi kebutuhan lahan yang minim, volume media pasir yang lebih sedikit, serta resistensi yang baik terhadap fluktuasi kualitas air baku. Pencucian filter (*backwash*) dilakukan berdasarkan indikator kehilangan tekanan (*headloss*). Namun, kelemahan sistem ini adalah biaya operasional yang tinggi, memerlukan tenaga operator terampil, produksi lumpur yang signifikan, dan efisiensi penyisihan bakteri yang relatif lebih rendah dibandingkan *Slow Sand Filter* jika tanpa desinfeksi (Al-Layla, 1978).

Tabel 2. 12 Kriteria Desain Unit Filtrasi Cepat

No	Unit	Saringan Biasa	Saringan Pencucian antar Saringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6-11	6-11
2	Pencucian: Sistem pencucian Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antara dua pencucian (jam) Ekspansi (%)	Tanpa/dengan <i>blower & atau surface wash</i> 36-50 10-15 18-24 30-50	Tanpa/dengan <i>blower & atau surface wash</i> 36-50 10-15 18-24 30-50
3	Dasar filter Lapisan penyangga dari atas ke bawah Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) Kedalaman (mm) ukuran butir (mm) <i>Filter nozzle</i> Lebar slot <i>nozzle</i> (mm) Persentase luas slot <i>nozzle</i> terhadap luas filter	80-100, 2-5 80-100, 5-10 80-100 10-15 80-150 15-30 < 0,5 > 4%	80-100, 2-5 80-100, 5-10 80-100 10-15 80-150 15-30 < 0,5 > 4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

b. Saringan Pasir Lambat (*Slow Sand Filter* - SSF)

Berbeda dengan RSF, SSF beroperasi pada kecepatan rendah sebesar 0,1–0,4 m/jam (Masduqi & Assomadi, 2012). Mekanisme pemurnian utamanya bergantung pada aktivitas biologis di lapisan permukaan yang disebut *Schmutzdecke* atau lapisan hipogeal. Lapisan biofilm ini dihuni oleh konsorsium mikroorganisme (bakteri, fungi, protozoa) yang berperan mendegradasi materi organik serta memerangkap partikel halus secara efektif.

Tabel 2. 13 Kriteria Desain Unit Filtrasi Lambat

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

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

Media filter, dapat berupa pasir silika, antrasit, atau garnet, harus diuji melalui analisis ayakan (*sieve analysis*) untuk menentukan distribusi ukurannya.

Dua parameter kunci dalam spesifikasi media adalah:

1. *Effective Size* (ES): Ukuran diameter di mana 10% partikel lolos ayakan (P_{10}), merepresentasikan ukuran media yang paling efektif dalam pemisahan kotoran.
2. *Uniformity Coefficient* (UC): Rasio keseragaman yang dihitung dari perbandingan diameter (P_{60}) terhadap (P_{10}).

Untuk perancangan *Rapid Sand Filter*, kriteria media yang umum digunakan adalah:

- a. *Single Media*: UC = 1,3 – 1,7 dan ES = 0,45 – 0,7 mm.
- b. *Dual Media*: UC = 1,4 – 1,9 dan ES = 0,5 – 0,7 mm.

Dalam perancangan IPAM ini, unit filtrasi yang dipilih adalah *Rapid Sand Filter*. Unit ini akan ditempatkan setelah proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi. Mengacu pada Masduqi & Assomadi (2019), RSF didesain dengan kecepatan filtrasi 6–11 m/jam. Keuntungan menggunakan RSF 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 SSF.

2.3.10 Desinfeksi

Pemenuhan standar mikrobiologis, khususnya nihilnya mikroorganisme patogen, merupakan parameter mutlak dalam kualitas air minum. Untuk mencapai standar tersebut, diperlukan proses desinfeksi yang bertujuan menginaktivasi atau memusnahkan agen patogen. Secara umum, metode desinfeksi diklasifikasikan menjadi dua pendekatan:

1. Desinfeksi Fisik

Melibatkan perlakuan fisik seperti pemanasan, gelombang mikro, atau penyinaran untuk mematikan mikroba.

2. Desinfeksi Kimiawi

Melibatkan injeksi desinfektan ke dalam air untuk memicu reaksi kontak yang letal bagi mikroorganisme. Desinfektan yang umum digunakan

meliputi gas klor (*Chlorine*), kaporit, ozon, bromin klorida, gas iod, hingga Kalium Permanganat.

Selain fungsi utamanya sebagai pembunuh alga dan bakteri (biosida), proses desinfeksi juga memiliki peran kimiawi lain, yaitu:

- a. Menghilangkan bau dan rasa;
- b. Mengoksidasi polutan anorganik (seperti nitrit menjadi nitrat, amonia menjadi senyawa amin); serta
- c. Mendegradasi senyawa fenol menjadi bentuk yang tidak berbahaya.

Efisiensi desinfeksi dipengaruhi oleh variabel operasional seperti waktu kontak, konsentrasi desinfektan, densitas mikroorganisme awal, temperatur, derajat keasaman (pH), serta keberadaan senyawa interferensi lain dalam air baku. Beberapa jenis desinfeksi di antaranya sebagai berikut.

1. Desinfeksi dengan Ozon (O_3)

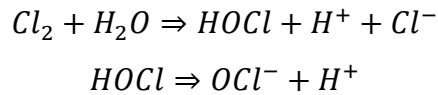
Ozon dikenal sebagai agen oksidator kuat dengan efektivitas destruksi bakteri 600 hingga 3.000 kali lebih tinggi dibandingkan klorin. Keunggulan utamanya adalah stabilitas kinerja yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi pH air. Mekanisme pembentukan ozon terjadi melalui eksitasi elektron dalam medan listrik bertegangan tinggi. Ketika oksigen (O_2) melewati arus listrik bolak-balik dengan kecepatan tertentu, terjadi loncatan elektron yang memecah molekul oksigen menjadi atom radikal bebas. Atom-atom ini kemudian bergabung kembali membentuk molekul ozon (O_3).

2. Desinfeksi dengan Sinar Ultraviolet (UV)

Metode ini bekerja melalui interaksi fisik langsung tanpa residu zat kimia. Sinar UV efektif mematikan spektrum luas mikroorganisme, dengan efektivitas germisidal tertinggi terjadi pada rentang panjang gelombang UV-C, yaitu antara 220–280 nm.

3. Desinfeksi Kimia (Klorinasi)

Metode ini berbasis pada pencampuran bahan kimia klorin ke dalam air dengan waktu kontak tertentu. Reaksi hidrolisis klorin di dalam air akan menghasilkan Asam Hipoklorit ($HOCl$) yang merupakan agen desinfeksi utama. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:



4. Desinfeksi dengan Gas Klor

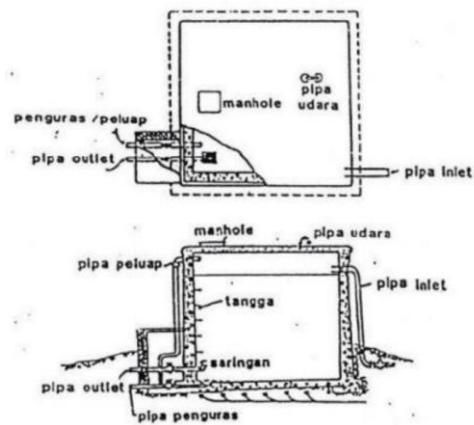
Aplikasi gas klor bertujuan ganda, yaitu sebagai agen inaktivasi biologis dan oksidator logam. Konsentrasi injeksi umumnya berkisar 2–3 g/m³, bergantung pada tingkat kekeruhan air. Gas klor dipilih karena laju oksidasinya yang lebih cepat dibanding aerasi, terutama dalam mengoksidasi besi organik pada pH optimum 8–8,3 dengan waktu reaksi 15–30 menit. Menurut Fatimah et al. (2007), dosis sisa klor (*chlorine residual*) yang direkomendasikan pada efluen adalah 0,2–0,5 mg/L. Untuk menentukan dosis optimum, diperlukan analisis Daya Pengikat Chlor (DPC) atau *Chlorine Demand*. Merujuk pada Sawyer et al. (1978), DPC didefinisikan sebagai selisih antara jumlah klorin yang dibubuhkan dengan sisa klorin terukur setelah waktu kontak 30 menit.

2.3.11 Reservoir

Dalam Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), reservoir memegang peranan vital sebagai unit penyimpanan air bersih. Fungsi fundamental dari bangunan ini adalah sebagai ekualisator hidrolis, yaitu menyeimbangkan disparitas antara debit produksi yang relatif konstan dengan fluktuasi debit pemakaian di masyarakat. Secara operasional, reservoir bekerja dengan mekanisme *buffering*, di mana ketika debit produksi melebihi kebutuhan konsumen, kelebihan air akan disimpan. Sebaliknya, cadangan air tersebut akan didistribusikan kembali saat tingkat pemakaian melampaui kapasitas produksi, sehingga kontinuitas pelayanan tetap terjaga. Berdasarkan posisi ketinggian relatif terhadap muka tanah, reservoir dikategorikan menjadi dua jenis:

a. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)

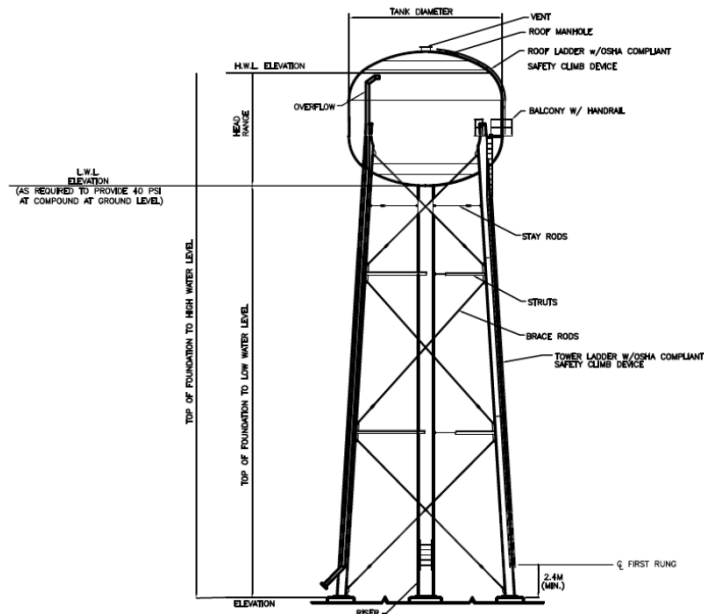
Tipe ini merupakan unit penampungan yang struktur utamanya diletakkan menyatu dengan elevasi tanah atau sebagian tertanam di bawah permukaan tanah. Konstruksi ini umumnya berbentuk bak beton bertulang yang tertutup.



Gambar 2. 21 Reservoir Permukaan
(Sumber: BPSDM PU, 2018)

b. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)

Dikenal juga sebagai menara air, jenis ini memiliki struktur penampungan yang ditempatkan pada ketinggian tertentu di atas permukaan tanah. Tujuannya adalah untuk memanfaatkan gaya gravitasi guna mendistribusikan air dengan tekanan yang cukup.



Gambar 2. 22 Reservoir Menara
(Sumber: AED Design Requirements: Water Tanks & System Distribution, 2009)

Pemilihan material reservoir didasarkan pada pertimbangan biaya, durabilitas, dan kondisi lingkungan. Berikut adalah karakteristik beberapa material yang umum digunakan:

a. Reservoir Baja (*Steel Tank*)

Sering diaplikasikan pada *standpipe* atau menara air karena biaya konstruksinya yang relatif lebih rendah dibanding beton. Struktur ini dirakit melalui metode pengelasan atau pembautan. Namun, baja memiliki kerentanan tinggi terhadap korosi dan absorpsi panas, sehingga memerlukan perlindungan ekstra berupa pengecatan rutin dan penerapan *Cathodic Protection*.



Gambar 2. 23 Reservoir Tangki Baja
(Sumber: BPSDM PU, 2018)

b. Reservoir Beton Cor (*Reinforced Concrete*)

Konstruksi ini dinilai unggul dalam aspek sanitasi dan kedap air sehingga meminimalkan risiko kebocoran. Meskipun memiliki durabilitas tinggi, kelemahan utamanya terletak pada biaya investasi awal yang cukup mahal.



Gambar 2. 24 Reservoir Beton Cor
(Sumber: <https://aladintirta.blogspot.com>)

c. Reservoir *Fiberglass*

Material komposit ini menawarkan kelebihan berupa bobot yang ringan, rigiditas dinding yang baik, serta estetika yang kokoh. Kendati demikian, *fiberglass* memiliki keterbatasan fisik, yakni rentan pecah akibat benturan mekanis serta sensitif terhadap degradasi akibat paparan sinar UV dan oksidasi jangka panjang.



Gambar 2. 25 Reservoir *Fiberglass*
(Sumber: Shopee/Toren Air FRP)

d. Reservoir Pasangan Bata

Merupakan opsi konvensional yang mengandalkan ketersediaan material lokal bata merah yang mudah didapat. Kelebihannya meliputi struktur yang kokoh dan tahan lama. Namun, tantangan teknisnya terletak pada pengerjaan pasangan yang membutuhkan ketelitian tinggi. Untuk menjamin

kekedapan dan kerapian, diperlukan lapisan plesteran yang tebal, yang sering kali berujung pada inefisiensi atau pemborosan material.

2.3.12 Belt Filter Press

Secara prinsip, *Belt Filter Press* (BFP) beroperasi melalui serangkaian tahapan pengolahan lumpur yang bertujuan mereduksi kadar air (*dewatering*) secara mekanis. Proses ini diawali dengan tahap pra-kondisi pada zona gravitasi (*gravity zone*), di mana sebagian besar air bebas terpisah dari lumpur akibat gaya berat, sehingga konsentrasi padatan meningkat. Pada beberapa unit spesifik, sistem vakum ditambahkan pada tahap ini untuk mengoptimalkan drainase air sekaligus mengontrol emisi bau. Selanjutnya, lumpur memasuki zona tekanan rendah, di mana lumpur dijepit di antara dua *belt* berpori. Proses berlanjut ke zona tekanan tinggi, di mana lumpur mengalami kompresi intensif saat melewati serangkaian *roller* penggulung untuk memeras sisa air yang terikat. Tahap akhir dari proses ini adalah pembentukan *sludge cake* kering yang kemudian dilepaskan dari permukaan sabuk menggunakan pisau pengerok (*scraper blade*).

Sistem BFP merupakan integrasi dari berbagai komponen vital, meliputi pompa *feed* lumpur, unit injeksi polimer, tangki flokulasi, unit *press* utama, konveyor lumpur, serta unit pendukung seperti kompresor udara dan pompa pencuci *belt*. Efisiensi kinerja alat ini bersifat multivariabel, bergantung pada interaksi antara karakteristik lumpur, kondisi pengkondisian kimiawi, tekanan operasional, serta spesifikasi mesin (porositas, kecepatan, lebar *belt*, dan konfigurasi zona gravitasi). Perlu dicatat bahwa BFP memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi karakteristik lumpur yang dapat mendegradasi efisiensi pengeringan. Oleh karena itu, strategi perancangan sering kali memasukkan fasilitas pencampuran untuk menghomogenkan karakteristik lumpur. Tantangan utama dalam operasional BFP adalah biaya operasional yang relatif tinggi, sehingga optimasi konsentrasi padatan awal menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi pembentukan *cake*.

2.4 Persen Removal

Melalui penelusuran studi literatur yang komprehensif, telah dihimpun data mengenai efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) dari berbagai unit operasi

terhadap parameter kualitas air yang relevan. Data kinerja unit ini digunakan sebagai acuan dasar dalam perancangan dimensi dan proses bangunan pengolahan air minum. Rangkuman persentase penyisihan parameter pencemar beserta rujukan sumbernya disajikan sebagai berikut.

Tabel 2. 14 Jenis Pengolahan Berdasarkan Parameter

Parameter	Unit Pengolahan	Persen Removal	Sumber
pH	Netralisasi	6,5 - 8,5	- Reynolds/Richards 2 nd . <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> . hal 130
Fe	Aerasi	60-90%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment. Chapter 9</i> . hal 224 - Reynolds/Richards 2 nd . <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> . hal 316
	Filtrasi	60-90%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment. Chapter 9</i> . hal 224
Mn	Aerasi	20-60%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . hal 224 - Reynolds/Richards 2 nd . <i>Unit Operations and Processes in Environmental Engineering</i> . hal 316
	Filtrasi	20-60%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . hal 224

Parameter	Unit Pengolahan	Persen Removal	Sumber
TSS	Prasedimentasi	80-95%	- Syed R Qasim. 2002. <i>Water Works Engineering</i> . Hal. 350
	Sedimentasi	80-95%	- Syed R Qasim. 2002. <i>Water Works Engineering</i> . Hal. 350
	Filtrasi	60-95%	- Syed R Qasim. 2018. <i>Waste Water Treatment and Reuse: Theory and Design Examples</i> . Page. 279
Kekeruhan	Prasedimentasi	90-100%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment</i> . hal 224
	Sedimentasi	90-100%	
	Filtrasi	90-100%	
<i>Total Coliform</i>	Desinfeksi	90-100%	- Droste. 1997. <i>Theory and Practice of water and wastewater Treatment</i> . Chapter 9. hal 224

2.5 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.

Profil hidrolis adalah upaya penyajian secara grafis "*hidrolik grade line*" dalam instalasi pengolahan atau menyatakan elevasi unit pengolahan (*influen-effluen*) dan perpipaan untuk memastikan aliran air mengalir secara gravitasi, untuk mengetahui kebutuhan pompa, dan untuk memastikan tingkat terjadinya banjir atau

luapan air akibat aliran balik. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat profil hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Kehilangan Tekanan pada Bangunan Pengolahan

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

- a. Kehilangan tekanan pada saluran terbuka
- b. Kehilangan tekanan pada bak
- c. Kehilangan tekanan pada pintu
- d. Kehilangan tekanan pada weir, sekat, ambang dan sebagainya harus di hitung secara khusus.

2. Kehilangan Tekanan pada Perpipaan dan Aksesoris

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

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan dengan monogram "*Hazen William*".
- b. Kehilangan tekanan pada aksesoris

Dengan mengekivalen aksesoris tersebut dengan panjang pipa, di sini juga digunakan monogram untuk mencari panjang ekivalen sekaligus

- c. Kehilangan tekanan pada pompa

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

- d. Kehilangan tekanan pada alat pengukur flok

Cara perhitungannya juga dengan bantuan monogram.

3. Tinggi Muka Air

Kesalahan dalam perhitungan tinggi muka air dapat terjadi kesalahan dalam menentukan elevasi (ketinggian) bangunan pengolahan, dalam pelaksanaan pembangunan, sehingga akan dapat mempengaruhi pada proses pengolahan.

Kehilangan tekanan bangunan (saluran terbuka dan tertutup) tinggi terjunan yang direncanakan (jika ada) akan berpengaruh pada perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara:

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