

## **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. Sumber 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. Sumber air yang ada di alam pada umumnya mengandung bakteri dengan jumlah dan jenis berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya (Sumampouw, 2019). Proses pengolahan air baku harus disesuaikan dengan klasifikasi kelas badan air yang akan digunakan, lalu di olah menjadi air bersih maupun air minum sesuai kelasnya. Pada Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum kali ini, air baku yang digunakan adalah air limbah industri hasil dari proses pengolahan air buangan

#### **2.2 Karakteristik Air Baku**

Air minum merupakan kebutuhan pokok manusia untuk bertahan hidup. Air minum umumnya tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, serta tidak mengandung bakteri atau zat yang berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia. Selain air minum, air bersih juga merupakan hal penting yang dibutuhkan oleh manusia. Mulai dari memasak, mandi, mencuci baju, dan kegiatan lain yang membutuhkan air bersih sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas air bersih. Oleh karena itu, air baku yang akan diolah harus memperhatikan karakteristik serta parameter dari air baku. Hal ini dilakukan supaya mempermudah proses pengolahan air baku menjadi air bersih atau air minum sesuai sehingga diketahui jenis pengolahan serta unit yang akan digunakan. Adapun karakteristik serta parameter dalam air baku yang akan diolah yaitu sebagai berikut:

No	Parameter	Kadar	Satuan	Baku Mutu
1	COD	13,72	mg/L	10
2	BOD	4,949	mg/L	2
3	TSS	0,21712	mg/L	40
4	Total Nitrogen	0,34656	mg/L	0,2
5	Total Phospat	0,14195	mg/L	15
6	Warna	98,165	Pt-Co Unit	15
7	TDS	1300	mg/L	1000
8	Fe	25	mg/L	0,3
9	Mn	20	mg/L	0,1
10	T-Coliform	1500	MPN/100 mL	1000

(Sumber: Data Perencanaan)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 untuk BOD memiliki nilai standar baku mutu sebesar 2 mg/L, COD sebesar 10 mg/L, dan TSS sebesar 40 mg/L, Total N 0,2 mg/L, Total P 15 mg/L, warna 15 Pt-Co Unit, TDS 1000 mg/L, Fe 0,3 mg/L, Mn 0,1mg/L dan Total *Coliform* 1000 MPN/100 mL. Kesepuluh parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan dari karakteristik air baku sebagai berikut:

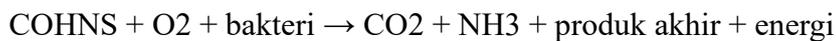
### 2.2.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* merupakan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisikan bahan organik dalam kondisi aerobik. BOD sendiri sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung di dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. BOD5 adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28°C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD5 (Sugiharto, 1987).

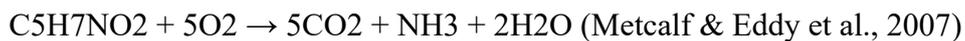
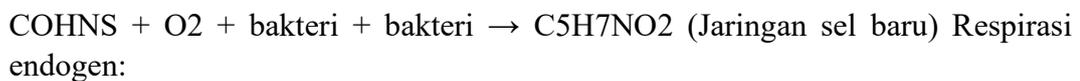
Dalam proses penguraian parameter BOD, terdapat tiga atau lebih proses yang berlangsung hingga dekomposisi BOD selesai. Proses pertama yaitu sebagian

air limbah dioksidasi menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel dan pembentukan jaringan sel baru. Secara bersamaan beberapa bahan organik dari air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan energi yang dilepaskan selama oksidasi. Ketika bahan organik habis, sel-sel baru akan mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi untuk metabolisme sel. Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

Oksidasi:



Sintesis:



### 2.2.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD atau Chemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Penetapan COD didasarkan atas kenyataan bahwa hampir semua senyawa organik dapat dioksidasi dengan bantuan oksidator kuat dalam kondisi asam. Aminonitrogen akan diubah menjadi amoniak nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ) dan pada oksidasi selanjutnya akan diubah menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Terdapat hubungan linear antara COD dan hasil BOD<sub>5</sub>, akan tetapi hubungan tersebut tergantung sepenuhnya pada komposisi air limbah (Qasim & Zhu, 2017).

Hubungan antara Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD) yaitu keduanya digunakan untuk mengukur kandungan bahan organik dalam air atau limbah. Nilai BOD digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air atau limbah, sedangkan nilai COD digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air atau limbah. Karena COD mencakup senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD (Metcalf &

Eddy et al, 2014). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 300mg/L, sedangkan kandungan COD yang dibuang ke badan air maksimal sebesar 100mg/L.

### **2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)**

Padatan tersuspensi total atau *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan residu dari padatan total (Total Solid/TS) yang tertahan saringan dengan ukuran maksimal partikel sebesar 2 $\mu$ m dan lebih besar dari ukuran koloid. TSS menyebabkan air menjadi keruh karena padatan jenis ini tidak terlarut dalam air serta tidak dapat mengendap secara langsung. Secara umum TSS disebabkan oleh partikel yang memiliki berat maupun ukuran lebih kecil dari sedimen seperti tanah liat, bahan organik tertentu, sel mikroorganisme, dan sebagainya (Nasution, 2008). Partikel yang dapat digolongkan ke dalam TSS antara lain tanah liat, lumpur, sulfida, ganggang, logam oksida, bakteri dan jamur (Tarigan, 2021). Umumnya TSS dapat di removal dengan menggunakan unit filtrasi serta flokulasi. Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 untuk efluen adalah sebesar 100 mg/L.

### **2.2.4 Total Dissolved Solid (TDS)**

Zat Padat Terlarut (TDS) adalah partikel terlarut yang menyebabkan sulitnya penangkapan cahaya jika masa jenis air semakin tinggi. Massa jenis air yang tinggi dapat membelokkan cahaya sehingga cahaya akan terbias dan warna air tampak lebih muda. Rendahnya kadar TDS tidak menyebabkan perubahan warna pada air karena partikel yang sedikit sehingga tidak dapat memantulkan cahaya. Padatan tersuspensi memiliki jumlah yang lebih banyak dibandingkan jumlah padatan terlarut sehingga warna air cenderung mengikuti nilai TSS (Rahadi et al., 2020). Standar baku mutu atau batas maksimum TDS menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 sebesar 500 mg/L.

### **2.2.5 Warna**

Tingkat kekeruhan warna air dapat menentukan tingkat kelayakan air yang digunakan (Iskandar et al., 2019). Kekeruhan (turbiditas) adalah istilah yang mengacu pada ukuran yang menunjukkan tingkat non-transparansi dari suatu

larutan atau cairan, hal ini biasanya disebabkan oleh adanya partikel yang tersuspensi yang ada didalam air. Secara fisis, indikator air bersih yaitu air yang bening, tidak berwarna, dan tidak berbau. Sedangkan secara optis, air yang tercampur oleh bahan pengotor keadaannya akan berubah warna, dan tingkat kekeruhannya. Tingkat kekeruhan air dipengaruhi oleh kadar partikel yang terlarut di dalamnya (Putri Wirman et al., 2019).

Warna pada air dapat diukur dengan menggunakan peralatan optik khusus di laboratorium atau di lapangan. Cahaya diarahkan melewati sampel air, dan jumlah cahaya tersebar diukur. Unit pengukuran disebut *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Semakin besar hamburan cahaya, maka semakin tinggi kekeruhan. Nilai rendah menunjukkan bahwa kejernihan air tinggi, sebaliknya nilai yang tinggi menunjukkan bahwa kejernihan air rendah

#### **2.2.6 Total Nitrogen**

Nitrogen Total adalah jumlah atau kadar keseluruhan nitrogen yang terdapat dalam limbah cair atau sampel, air permukaan dan lainnya. Analisis air limbah terhadap nitrogen total meliputi berbagai nitrogen yang berbeda-beda yaitu amoniak, nitrit dan nitrat. Hubungan yang timbul diantara berbagai bentuk campuran nitrogen dan perubahan-perubahan yang terjadi dalam alam pada umumnya digambarkan dengan “siklus nitrogen”. Didalam air limbah kebanyakan dari nitrogen itu pada dasarnya terdapat dalam bentuk organik atau nitrogen protein dan amoniak. Setingkat demi setingkat nitrogen organik itu dirubah menjadi nitrogen amoniak, dalam kondisi-kondisi aerobik, oksidasi dari amoniak menjadi nitrit dan nitrat terjadi sesuai waktunya. Pada limbah yang belum diolah, nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrogen organik dan komponen amonium. Nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroba menjadi ion amonium. Bila kondisi lingkungan mendukung maka mikroba nitrifikasi mampu mengoksidasi amonia. Mikroba tersebut bersifat autotropik yaitu mendapatkan energinya melalui proses oksidasi dari ion ammonium (Pungut et al., 2021).

### **2.2.7 Total Phospat**

Kandungan fosfat pada air limbah ditemukan pada beberapa tempat. Fosfat anorganik dihasilkan oleh limbah manusia sebagai hasil proses metabolisme senyawa protein, lemak di dalam tubuh. Senyawa polifosfat ditemukan pada limbah industri detergen maupun pencucian. Senyawa ortofosfat ditemukan pada pupuk tanaman, yang sering digunakan pada daerah pertanian. Senyawa polifosfat dapat dihidrolisis oleh bakteri menjadi senyawa ortofosfat. Jumlah kandungan polifosfat dapat dihitung dengan cara total anorganik fosfat dikurangi dengan ortofosfat. Senyawa fosfat biasanya diukur bentuk ortofosfat. Penentuan kandungan fosfat sebagai indikator biologis terdapat aktivitas mikroorganisme pada air permukaan, dalam penelitian sebelumnya kandungan fosfat ditemukan pada sungai, danau maupun reservoir. Penentuan fosfat harus dilakukan secara rutin dalam pengolahan air limbah maupun di air permukaan, karena fosfat sebagai nutrisi makro esensial pertumbuhan biologis (Listantia, 2020).

### **2.2.8 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).

### **2.2.9 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).

### **2.2.10 Total Coliform**

*Coliform* adalah bakteri gram negatif berbentuk batang yang bersifat anaerob atau fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan dapat memfermentasi

laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada suhu 35°C-37°C (Sumampouw, 2019). Bakteri *coliform* adalah jenis bakteri yang umumnya digunakan sebagai indikator penentuan kualitas kebersihan makanan dan air. Keberadaan bakteri ini dapat digunakan sebagai indikator adanya organisme patogen lain seperti virus atau protozoa.

*Coliform* total merupakan bakteri kelas atas atau termasuk bakteri yang dapat bertahan dan berkembangbiak di air sehingga *coliform* tidak berguna sebagai indeks patogen kotoran khusus. Akan tetapi, *coliform* dapat digunakan sebagai indikator efektifitas perawatan serta penilaian terhadap kebersihan dan integritas sistem distribusi, dan keadaan potensial biofilm (Sumampouw, 2019).

### **2.3 Standar Kualitas Air Minum**

Standar kualitas air minum digunakan sebagai acuan dalam mengukur parameter air baku yang akan diolah menjadi air minum. Peraturan yang mengatur standar kualitas air minum adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Air yang disalurkan harus memiliki mutu yang baik, bersih/jernih dan dapat dinilai dari pandangan bahwa air sudah bersih tidak berbau, tidak berwarna dan keruh serta layak untuk didistribusikan kepada pelanggan. Kualitas mutu air minum sendiri diklasifikasikan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu:

1. Kelas pertama: Air yang digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.
2. Kelas kedua: Air yang 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 kegunaannya.
3. Kelas ketiga: Air yang digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya

4. Kelas keempat: Air yang digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.

## **2.4 Bangunan Pengolahan**

### **2.4.1 Bak Transisi**

Bak penampung transisi merupakan unit yang digunakan untuk menampung air dari hasil proses pengolahan air buangan yang selanjutnya akan diolah menjadi air minum. Bak penampung sendiri merupakan bangunan yang memiliki fungsi untuk menampung serta menyeragamkan variasi laju aliran setiap jam dan beberapa parameter terkait untuk mencapai suatu karakteristik dan laju aliran air limbah yang konstan dan dapat diterapkan dalam sejumlah situasi yang berbeda sesuai dengan unit pengolahan yang digunakan berikutnya. Waktu detensi di bak penampung memiliki maksimum yaitu selama 30 menit, hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya pengendapan dan dekomposisi air limbah. Tinggi muka air saat kondisi puncak harus berada di bawah aliran masuk (inlet) atau saluran pembawa agar tidak terjadi aliran balik. Setelah keluar dari bak penampung, debit air buangan yang berfluktuasi setiap jamnya akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy et al., 2007).

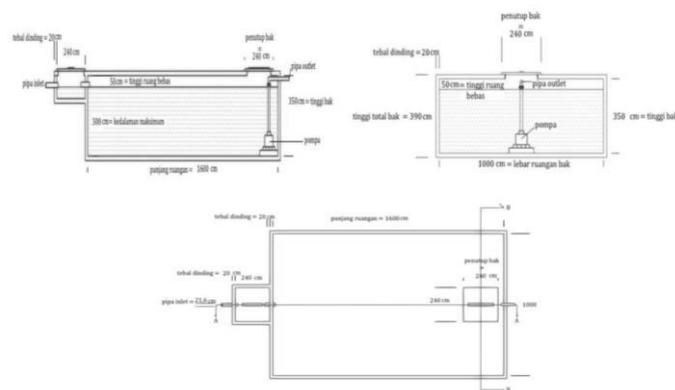
Beberapa manfaat utama dari penggunaan unit bak penampung yaitu:

1. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena *shock loading rate* mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan
2. Kualitas efluen dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
3. Kebutuhan luas permukaan dalam unit filtrasi dapat dikurangi, kinerja filter ditingkatkan, dan siklus backwash pada filter yang lebih seragam dimungkinkan dilakukan dengan muatan hidrolis yang lebih rendah (efisiensi penggunaan);

4. Dalam pengolahan kimia, mampu mengurangi penggunaan bahan kimia akibat ketidakstabilan parameter yang fluktuatif setiap jamnya.

Selain manfaat, unit bak transisi juga memiliki kekurangan, yaitu:

1. Memerlukan area/lokasi yang cukup luas
2. Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal
3. Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat (Metcalf & Eddy et al, 2007).



Gambar 2.1 Bak Penampung Transisi

(Sumber: Effendim 2003)

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

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

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

Tabel 2.1 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
1	Kedalaman Air Minimal	hmin	1,5 – 2	m	Metcalf & Eddy et al., 2007
2	Ambang Batas (Freeboard)	hfb	5 – 30	%	
3	Laju Pemompaan Udara (aerasi)	Qudara	0,01 – 0,015	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -menit	
No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Sumber
4	Kemiringan Dasar Tangki	Slope	40 – 100	mm/m diameter	Qasim & Zhu, 2017
5	Waktu Tinggal	Td	1 – 2	jam	Metcalf & Eddy et al., 2007

(Sumber: Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018)

Pada proses pengaliran air dari bak penampung menuju unit selanjutnya diperlukan pompa supaya debit yang masuk akan menjadi teratur sehingga dapat mengurangi adanya *shock loading rate*. Adapun karakteristik pompa yang akan digunakan yaitu:

Tabel 2.2 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	Centrifugal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Air limbah sebelum diolah</li> <li>2. Penggunaan Lumpur Kedua</li> <li>3. Pembuangan effluent</li> </ol>

<b>Klasifikasi Utama</b>	<b>Tipe Pompa</b>	<b>Kegunaan Pompa</b>
	Peripheral	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan buangan
Posite Displacement	Screw	1. Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua 2. Air limbah pertama
	Diafragma Penghisap	1. Permasalahan zat kimia limbah logam 2. Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	Air Lift	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	Pneumatic Ejector	Instalasi pengolahan air limbah skala kecil

(Sumber: *Qasim, Syed R. Zhu Guang, Wastewater Treatment Objective, Design Consideration, and Treatment Processes, Halaman 6-43*)

#### **2.4.2 Bak 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).

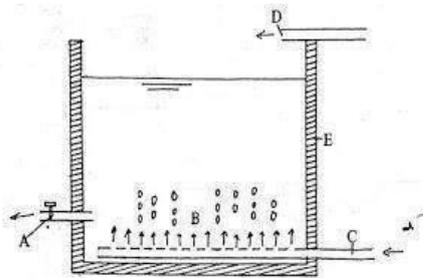
Sumber lain menjelaskan bahwa aerasi adalah suatu proses atau usaha dalam menambahkan konsentrasi oksigen yang terkandung dalam air, agar proses oksidasi biologi oleh mikroba akan dapat berjalan dengan baik. Dalam melakukan proses Aerasi ini perlu menggunakan alat yang dinamakan aerator. Prinsip kerja 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* ( $\text{CO}_2$ ).
3. Menghilangkan *hydrogen sulfide* ( $\text{H}_2\text{S}$ ), *methan* ( $\text{CH}_4$ ) 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 ( $\text{Fe}$ ) 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 = biba berlubang untuk udara
- D = inlet air baku
- E = bak air

Penurunan carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) 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 m<sup>3</sup> udara/m<sup>3</sup> air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melaluidasar 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<sub>d</sub> = 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 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 (Sh)

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

Jarak vertical antar disk (Sv)

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

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<sub>2</sub>)

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

9. Perhitungan blower

$$Pw = wRT1 / (550 ne) [(P2/P1)^n - 1]$$

Tabel 2.3 Desain dan Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi:	20-45% CO <sub>2</sub>	Tinggi 1-3 m

<b>Aerator</b>	<b>Penyisihan</b>	<b>Spesifikasi</b>
<i>Cascade</i>		Luas: 85-105 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> .det Kecepatan aliran: 0,3 m/det
<i>Packing Tower</i>	> 95% VOC > 90% CO <sub>2</sub> > 90% CO <sub>2</sub>	Diameter kolom maksimum: 3 m Beban Hidrolik: 2000 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari Kecepatan 0,8-1,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .menit
<b>Aerator</b>	<b>Penyisihan</b>	<b>Spesifikasi</b>
<i>Tray</i>		Kebutuhan udara: 7,5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> air
<i>Spray Aerator</i>	70-90% CO <sub>2</sub> 25-40 H <sub>2</sub> S	Jarak rak (tray): 30-75 cm Luas: 50-160 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .det Tinggi 1,2-9 m Diameter nozzle: 2,5-4 cm jarak nozzle: 0,6-3,6 m Debit nozzle: 5-10 l/det
<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOCs	Luas Bak: 105-320 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .det tekanan semprotan: 70 kPa

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
		waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> air tangka kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m <sup>3</sup> Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
Aerator Mekanik	70-90% CO <sub>2</sub>  25-40 H <sub>2</sub> S	waktu detensi: 10-30 menit kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim et al., 2000)

### 2.4.3 Filtrasi

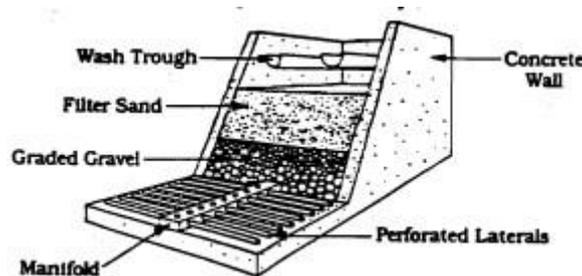
Menurut Al-Layla pada tahun 1980, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan proses filtrasi. Proses filtrasi sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik.

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

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

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

Pada prosesnya, partikel tersuspensi yang 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.



Gambar 2.3 Bagian – Bagian Filter

(Sumber: Reynold & Richard, 1996)

Terdapat beberapa macam jenis filter modifikasi yang telah digunakan di mancanegara, antara lain *rapid sand filter*, *slow sand filter*, *pressure sand filter*, *multiple media filters*, *diatomaceous earth filters*, *upflow filters* dan lain sebagainya. Menurut Al-Layla pada tahun 1980, 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 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>.hr (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>.hr). Ukuran pasir efektif yang digunakan pada filter ini berkisar antara 0,450,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38-60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses backwash pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow*

*sand filter*. Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari *head loss filter* saat itu (Al-Layla, 1978).

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, anthrazit, atau pasir garnet. Media ini umumnya memiliki variasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia pemilihan media filter yang digunakan dilakukan dengan analisis ayakan. Hasil ayakan suatu media filter digambarkan dalam kurva akumulasi distribusi untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan. *Effective Size* (ES) atau ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari total kedalaman lapisan media filter atau 10% dari fraksi berat, ini sering dinyatakan sebagai P10 (persentil 10). P10 yang dapat dihitung dari rasio ukuran rata-rata dan standar deviasinya (Al-Layla, 1978).

*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:

*Single* media pasir:  $UC = 1,3 - 1,7$

$ES = 0,45 - 0,7 \text{ mm}$

Untuk *dual* media:  $UC = 1,4 - 1,9$

$ES = 0,5 - 0,7 \text{ mm}$

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.. Jika kekeruhan pada influen filter pasir cepat

berkisar 5-10 NTU maka efisiensi penurunan kekeruhannya dapat mencapai 90-98% (Masduqi & Assomadi, 2019).

Tabel 2.4 Kriteria Rapid Sand Filter

No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antarsaringan
1	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 - 11	6 - 11
2	Pencucian: Sistem pencucian  Kecepatan (m/jam) Lama pencucian (menit) Periode antar dua pencucian (jam)  Ekspansi (%)	Tanpa/dengan blower & atau surface wash  36 - 50 10 - 15 18 - 24  30 - 50	Tanpa/dengan blower & atau surface wash  36 - 50 10 - 15 18 - 24  30 - 50
3	Dasar filter		
No	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antarsaringan

a. 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
b. Filter nozel		
- Lebar slot nozel (mm)	<0,5	<0,5
- Persentase luas slot nozel terhadap luas filter (%)	>4%	>4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

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

Tersumbatnya media filter ditandai oleh:

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

Tujuan pencucian filter adalah melepaskan kotoran yang menempel pada media filter dengan aliran ke atas (*upflow*) hingga media terekspansi. Umumnya tinggi sebesar 15 – 35% (Droste, 1997). Lama pencucian sekitar 3 – 15 menit. Ada beberapa sistem pencucian filter yaitu:

- Menggunakan menara air
- *Interfilter*

#### 2.4.4 Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, yaitu air harus bebas dari mikroorganisme patogen. Desinfeksi merupakan 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 permanganate.

Kemampuan disinfeksi dalam pengolahan air minum adalah:

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

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi disinfeksi adalah:

1. Waktu kontak.
2. Konsentrasi disinfeksi.
3. Jumlah mikroorganisme.
4. Temperatur air.
5. pH

*Calcium Hypochlorite*  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  umum disebut pula kaporit. Di Indonesia untuk mendesinfektir air minum banyak digunakan kaporit sebagai desinfektan,

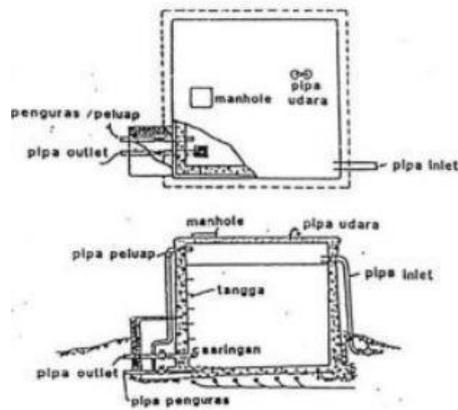
terutama oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) bila kaporit dilarutkan ke dalam air maka akan menghasilkan atom – atom zat asam. Atom – atom zat asam inilah yang sebenarnya aktif membunuh bakteri – bakteri, karena bakteri – bakteri dioksidir (bakar). Bakteri – bakteri juga mempunyai enzyrna dan oleh atom – atom zat asam enzyrna dioksidir sehingga bukan saja enzyrna tapi seluruh sel bakteri rusak karena rusak bakteri – bakteri pun mati. Menurut Mursid, 1991, kaporit lebih sering dipergunakan dari pada  $\text{CaOCl}_2$  (*Chloride of Lime*), karena sifatnya yang lebih stabil dan lebih melarut dalam air. Kaporit berupa bubuk dan bersifat higroskopis, karena itu menyimpan kaporit harus ditutup rapat (Ali, 2010). Kalsium Hipoklorit atau yang sering dikenal dengan kaporit merupakan senyawa klor berbentuk bubuk atau tablet. Kaporit bila ditambahkan ke dalam air akan terhidrolisis menghasilkan ion klor dan asam hipoklorit (Komala & Agustina, 2014).

#### **2.4.5 Reservoir**

Reservoir merupakan tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. Reservoir umumnya diperlukan dalam sistem penyediaan air bersih yang melayani suatu kota. Reservoir mempunyai fungsi dan peranan tertentu yang diperlukan agar sistem penyediaan air bersih tersebut dapat berjalan dengan baik. Fungsi utama dari reservoir adalah untuk menyeimbangkan antara debit produksi dan debit pemakaian air.

Seringkali debit produksi air bersih tidak selalu sama besarnya dengna debit pemakaian air. Pada saat jumlah produksi air bersih lebih besar daripada jumlah pemakaian air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam reservoir dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air. Berdasarkan tinggi relatif reservoir terhadap 47 permukaan tanah sekitarnya, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Reservoir permukaan; reservoir yang sebagian besar atau seluruh reservoir tersebut terletak di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.4 Reservoir Permukaan

(Sumber: BPSDM PU)

2. Reservoir Menara; reservoir yang seluruh bagian penampungan dari reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan tangki sekitarnya



Gambar 2.5 Reservoir Menara

(Sumber: BPSDM PU)

Sedangkan berdasarkan bahan konstruksi, maka jenis reservoir dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Reservoir Tangki Baja; Banyak reservoir menara dan “*standpipe*” atau reservoir tanah yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Karena baja beresiko terhadap karat dan mudah menyerap panas, maka perlu

dicat dan dilindungi dengan “*Cathodic Protection*”. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.

2. Reservoir Beton Cor; Tanki dan reservoir beton pertama kali dibuat tanpa penutup. Perkembangan selanjutnya konstruksi ini memakai penutup dari kayu atau beton. Dengan tutup ini maka masalah sanitasi akan terselesaikan. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Kelemahan umum dari bahan beton adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.
3. Reservoir Fiberglass; Penggunaan *fiberglass* sebagai bahan untuk membuat reservoir memiliki beberapa kelebihan seperti ringan, tekstur dinding tanki kaku dan terlihat kuat. Namun dari kelebihan yang dimiliki, adapun kekurangan yang dimiliki yaitu rentan terhadap benturan dan dinding tanki mudah retak, tidak tahan terhadap UV dan oksidasi bila terjemur sinar matahari.

## 2.5 Persen Removal

Tabel 2.5 Persen Penyisihan Unit Pengolahan Air Minum

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Aerasi	COD	74,53%	Nurhasnah, et.al., (2020). Efektivitas Pemberian Udara Berkecepatan Tinggi Dalam Menurunkan Polutan Leachate TPA Sampah: Studi Kasus Di TPA Sampah Galuga Kota Bogor. Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes, 4(4), 63-76
	BOD	74,63%	
	Total N	66,6%	
	Total P	83,0%	Ariyanto, E., Melani, A., & Anggraini, T. (2015). Penyisihan Po 4 Dalamair Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Struvite. Jurnal.Ftumj, November 2015, 1–8
	TDS	0% - 20%	Droste, 1997, Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9, Hal 225
	Fe	20% - 90%	

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
	Mn	0% - 60%	
Filtrasi	COD	70%	Oktavia, L., Lingkungan, T., Nahdlatul, U., Sidoarjo, U., Inggris, P. B., Nahdlatul, U., & Sidoarjo, U. (2019). Studi Efisiensi Reaktor Rapid Sand Filter Dalam Penurunan Cod Pada Air Limbah. 5(2), 1–5.
	BOD	70%	
	TDS	0% - 20%	Droste, 1997, Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9, Hal 225
	Fe	20% - 100%	
	Mn	20% - 100%	
Warna	91,53%	Novitasari, R., Isna Apriani., & Titin Anita Zahara. (2013). Evaluasi dan Optimalisasi Kinerja IPA I PDAM Kota Pontianak.	
Desinfeksi	T-Coliform	90% - 100%	Droste, 1997, Theory and Practice of water and wastewater Treatment Chapter 9, Hal 224

(Sumber: Perhitungan, 2024)

## 2.6 Pipa Hidrolis

Profil hidrolis adalah perbandingan level muka air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ditentukan berdasarkan besaran penurunan level muka air akibat beberapa hal. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya penurunan level muka air antara lain jatuhnya, belokan, kecepatan aliran air di bangunan, atau kecepatan air saat melalui perofated baffle. Menurut Marsono (1995) profil hidrolis perlu menggunakan persamaan headloss dalam bangunan dan pipa.

Dalam perhitungan headloss akibat kehilangan tekanan dalam pipa, menggunakan persamaan Hazen-William sebagai berikut:

$$H_f = \left( \frac{Q}{0,0015 \times C \times D} \right)^{1,85} \times L$$

Di mana:

- Hf = major losses (m)
- L = Panjang pipa (m)
- Q = Debit (L/detik)
- C = Koefisien kekasaran pipa (120 untuk pipa pvc)
- D = Diameter pipa (cm)

Lalu headloss yang disebabkan adanya kecepatan air di bangunan, dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach yaitu sebagai berikut:

$$HL = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

Di mana:

- f = Koefisien Darcy =  $1,5 \times (0,01989 + 0,000508 \ 4R)$
- L = Panjang bangunan (m)
- R = Jari-jari hidrolis
- v = Kecepatan Aliran (m/s)

Selanjutnya, headloss jatuhnya dan belokan akan dihitung dengan menggunakan rumus Manning. Persamaan manning dijabarkan sebagai berikut:

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

Di mana:

- n = Koefisien kekasaran manning
- R = Jari-jari hidrolis
- L = Panjang jatuhnya atau belokan (m)