

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Baku

Sumber air yang ada di alam pada umumnya mengandung bakteri dengan jumlah dan jenis berbeda sesuai dengan tempat dan kondisi yang mempengaruhinya. Air baku merupakan bahan yang dimanfaatkan sebagai air bersih maupun air minum. Air baku berasal dari alam yang di ambil dari sumber-sumber yang sudah memenuhi standar baku mutu terlebih dahulu seperti air hujan, air tanah, air permukaan dan air laut. Air baku yang banyak digunakan adalah air tanah dan air permukaan (sungai). 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 (Aris et al., 2021).

2.2 Karakteristik Air Baku

Air minum merupakan air yang melalui proses-proses tertentu untuk memenuhi syarat kesehatan dan juga dapat langsung diminum. Namun, saat ini masih banyak masyarakat umum yang belum mengetahui tentang standar kualitas air minum. Air minum merupakan air yang telah diuji kualitasnya, sehingga memenuhi standar syarat kesehatan dan juga dapat langsung diminum, syarat kesehatan yang dimaksud adalah mikrobiologi; kimia fisika dan radio aktif. Oleh karena itu, air baku yang akan diolah harus memperhatikan karakteristik serta parameter dari air baku (Aminuddin et al., 2023). 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:

Tabel 2.1 Karakteristik dan Parameter Air Baku

No.	Parameter	Kadar	Satuan
1.	COD	15,23	mg/L
2.	BOD	3,60	mg/L
3.	TSS	0,08	mg/L
4.	TDS	167,50	mg/L
5.	Kekeruhan	5	NTU
6.	N-Total	0,003	mg/L
7.	P-Total	0,43	mg/L
8.	pH	7,5	-
9.	DO	25	mg/L
10.	Total <i>Colifrom</i>	150	mg/L

(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 25 mg/L, N-Total sebesar 15 mg/L, P-Total sebesar 0,2 mg/L, dan DO sebesar diatas 6 mg/L. Selain itu, berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 untuk TDS memiliki nilai standar baku mutu sebesar kurang dari 300 mg/L, pH sebesar 6,5 – 8,5, Kekeruhan sebesar dibawah 3 NTU, dan Total Coliform sebesar 0 dalam 1000 ml sampel. Dari parameter tersebut harus diolah sesuai dengan baku mutu menggunakan unit yang telah direncanakan. Adapun penjelasan dari karakteristik air baku sebagai berikut:

2.2.1 BOD (*Biochemical oxygen demand*)

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. 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 (Takashi Asano & Professor, 2007). Kandungan BOD yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada lampiran VI untuk BOD memiliki nilai standar baku mutu sebesar 2 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

Proses ketiga ini disebut respirasi endogen. CHONS (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) mewakili jaringan sel dengan reaksi kimia:

- Oksidasi:

$$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{bakteri} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{produk akhir} + \text{energi}$$
- Sintesis:

$$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{bakteri} + \text{bakteri} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 \text{ (Jaringan sel baru)}$$
- Respirasi endogen:

$$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 5\text{O}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 \text{ (Jaringan sel baru)}$$

2.2.2 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

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 ammoniak nitrogen (NH₄⁺) dan pada oksidasi selanjutnya akan diubah menjadi nitrat (NO₃). Terdapat hubungan linear antara COD dan hasil BOD₅, akan tetapi hubungan tersebut tergantung sepenuhnya pada

komposisi air limbah. 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 dari pada nilai BOD (Dirjen Cipta Karya Kementerian PUPR, 2018). Kandungan COD yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada lampiran VI untuk COD memiliki nilai standar baku mutu sebesar 10 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.3 TSS (*Total Suspended Solid*)

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 μ 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. Partikel yang dapat digolongkan kedalam TSS antara lain tanah liat, lumpur, sulfida, ganggang, logam oksida, bakteri dan jamur. Umumnya TSS dapat di removal dengan menggunakan unit filtrasi serta flokulasi.

Materi tersuspensi mempunyai efek yang kurang baik terhadap kualitas air karena menyebabkan kekeruhan dan mengurangi cahaya yang dapat masuk kedalam air. Oleh karenanya, manfaat air dapat berkurang, dan organisme yang butuh cahaya akan mati. Setiap kematian organisme akan menyebabkan terganggunya ekosistem akuatik. Apabila jumlah materi tersuspensi ini banyak dan kemudian mengendap, maka pembentukan lumpur dapat sangat mengganggu dalam saluran, pendangkalan cepat terjadi, sehingga diperlukan pengerukan lumpur yang

lebih sering. Apabila zat-zat ini sampai di muara sungai dari bereaksi dengan air yang asri, maka baik koloid maupun zat terlarut dapat mengendap di muara. Proses inilah yang menyebabkan terbentuknya delta-delta yang dapat pengaruhnya terhadap kesehatan pun menjadi tidak langsung (Rinawati et al., 2018). Kandungan TSS yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada lampiran VI untuk TSS memiliki nilai standar baku mutu sebesar 40 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.4 TDS (*Total Dissolved Solids*)

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. Selain itu, TDS digunakan untuk mengetahui jumlah material yang terlarut di dalam air. Material ini dapat berupa karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik, senyawa koloid dan lain-lain. TDS dapat digunakan untuk memperkirakan kualitas air minum, karena mewakili jumlah ion di dalam air (Rinawati et al., 2018). Kandungan TDS yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk TDS memiliki nilai standar baku mutu sebesar dibawah 300 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.5 Kekkeruhan

Tingkat kekeruhan air dapat menentukan tingkat kelayakan air yang digunakan. Kekkeruhan (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. Kekeruhan 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 (Friskia et al., 2023). Kandungan Kekeruhan yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk kekeruhan memiliki nilai standar baku mutu sebesar dibawah 3 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.6 pH (*Potential of Hydrogen*)

pH merupakan hasil pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam air baku. Total skala pH berkisar dari 1 sampai 14, dengan 7 dianggap netral. Nilai pH kurang dari 7 dikatakan asam dan nilai pH lebih dari 7 basa atau alkali. Nilai pH pada suatu perairan memiliki pengaruh terhadap jumlah organisme perairan sehingga dijadikan petunjuk untuk menyatakan baik atau buruknya suatu perairan. Perubahan nilai pH dapat disebabkan beberapa hal seperti hujan asam, limbah buangan industri, limbah penambangan, dan pelapukan mineral yang akan berakibat fatal terhadap organisme perairan. Nama pH berasal dari *potential of hydrogen* Secara matematis, pH didefinisikan dengan $H = -\log_{10}[H^+]$. Kebanyakan mikroorganisme dapat hidup pada pH antara 6-9. Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit atau konduktivitas suatu larutan (Permana et al., 2020). Kandungan pH yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk pH memiliki nilai standar baku mutu berkisar antara 6,5 - 8,5 yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.7 N-Total (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). Kandungan Nitrogen Total yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk Nitrogen Total memiliki nilai standar baku mutu sebesar 15 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.8 P-Total (Total Fosfat)

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). Kandungan Posfat Total yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk Posfat Total memiliki nilai standar baku mutu sebesar 0,2 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.9 DO (*Dissolved oxygen*)

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Nilai DO yang biasanya diukur dalam bentuk konsentrasi ini menunjukkan jumlah oksigen (O_2) yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus. Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Selain itu kemampuan air untuk membersihkan pencemaran juga ditentukan oleh banyaknya oksigen dalam air. DO merupakan oksigen terlarut yang digunakan untuk mengukur kualitas kebersihan air. Semakin besar nilai kandungan DO menunjukkan bahwa kualitas air tersebut semakin bagus. Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) merupakan kebutuhan dasar tanaman dan hewan dalam air. Oksigen terlarut dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan udara yang masuk ke dalam air dengan kecepatan terbatas serta dinyatakan dalam satuan ppm (*part per million*). Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau energi untuk pertumbuhan dan pembiakan (Yuliantari et al., 2021). Kandungan DO yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 pada lampiran VI untuk DO memiliki nilai standar baku mutu sebesar 6 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

2.2.10 Total Coliform

Total *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. 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 (Sekarwati & Wulandari, 2016). Kandungan Total *Coliform* yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor No 2 Tahun 2023 untuk Total *Coliform* memiliki nilai standar baku mutu sebesar 0 mg/L yang diizinkan layak konsumsi bagi masyarakat.

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 2 Tahun 2023 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:

- a. Kelas pertama: Air yang digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.
- b. 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.

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

2.4 Bangunan Pengolahan Air Minum

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 transisi yaitu:

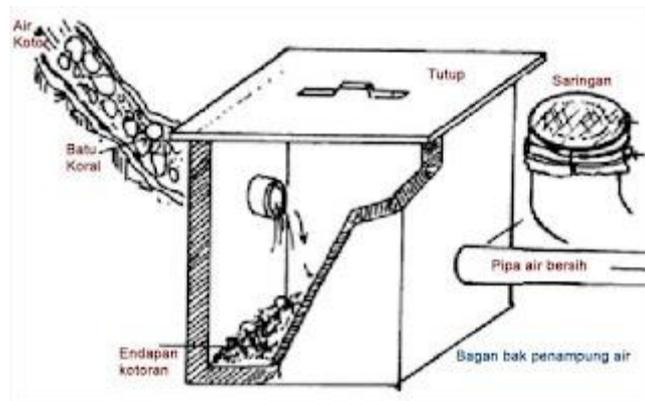
- a. Pengolahan biologis dapat dioptimalkan karena *shock loading rate* mampu dikurangi/dicegah, zat penghambat dapat diencerkan
- b. Kualitas *effluent* dan kinerja tangki sedimentasi sekunder setelah pengolahan biologis air limbah mampu dioptimalkan melalui peningkatan konsistensi dalam pemuatan padatan;
- c. 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);

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

Selain manfaat, unit bak penampung juga memiliki kekurangan diantaranya:

- a. Memerlukan area/lokasi yang cukup luas
- b. Mampu menimbulkan bau akibat waktu detensi limbah awal
- c. Memerlukan operasi dan biaya tambahan sehingga biaya meningkat



Gambar 2.1 Unit Bak Penampung Transisi Dan Gambar Penampung Transisi

(Sumber: soponyonopati.blogspot.com)

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

- a. Rumah pompa, digunakan untuk mengatur debit air limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya, sehingga diperoleh debit harian rata-rata.
- b. 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 transisi antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Bak Penampung

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Kedalaman air minimal (h_{min})	1,5 – 2	meter	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Laju pemompaan udara (Q_{udara})	0,01 – 0,015	m^3/m^3 - menit	
Kemiringan dasar tangki (<i>slope</i>)	40 – 100	Mm/m diameter	(Qasim & Zhu, 2017)
Waktu Tinggal	1 – 2	Jam	(Metcalf & Eddy et al., 2007)
Ambang batas / <i>freeboard</i> (h_{fb})	5 – 30	%	

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

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung bak penampung transisi antara lain:

- Waktu Tinggal (td)

$$td = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak penampung transisi (m^3)

Q = debit air yang dipompa

td = waktu tinggal ($m^3/detik$)

- Kecepatan Aliran (v)

$$v = A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m^2)

H = kedalaman air (m)

v = kecepatan aliran (m^3)

- Dimensi Bak Penampung transisi

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan:

P = panjang bak (m)

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

V = volume bak (m³)

- Kedalaman Total (H_{total})

$$H_{total} = H + (fb \times H) + H \text{ ruang lumpur}$$

Keterangan:

H = ketinggian bak (m)

fb = *freeboard*

- Jari-jari Hidraulis

$$R = \frac{w \times H}{w \times 2H}$$

Keterangan:

W = lebar bak (m)

H = tinggi bak (m)

R = jari-jari (m)

- Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- Pipa *Outlet*

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

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Outlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- *Headloss*
 - *Headloss* Mayor

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

- *Headloss* Minor

$$H_f \text{ minor} = k_1 \cdot \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \cdot \frac{v^2}{2g})$$

- *Headloss* Total

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

Sedangkan untuk mengalirkan air buangan ke unit pengolahan selanjutnya diperlukan pompa sehingga debit yang masuk akan menjadi teratur dan mengurangi adanya *shock loading rate*. Adapun karakteristik pompa yang digunakan diantaranya:

Tabel 2.3 Karakteristik Pompa Bangunan Pengolahan Air

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
Kinetik	<i>Centrifugal</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan <i>effluent</i>
	<i>Peripheral</i>	Limbah logam, pasir, air limbah kasar
	Rotor	Minyak, pembuangan gas, zat-zat kimia, aliran lambat untuk air dan air minum

Klasifikasi Utama	Tipe Pompa	Kegunaan Pompa
<i>Positive Displacement</i>	<i>Screw</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, lumpur pengolahan pertama dan kedua • Air limbah pertama • Lumpur Kasar
	Diafragma Penghisap	<ul style="list-style-type: none"> • Permasalahan zat kimia limbah logam • Pengolahan lumpur pertama dan kedua (permasalahan kimia)
	<i>Air Lift</i>	Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur sedimentasi kedua
	<i>Pneumatic Ejector</i>	Instalasi pengolahan air minum dengan 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 menyempatkan 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 antara lain:

- a. Penambahan jumlah oksigen.
- b. Penurunan jumlah *carbon dioxide* (CO₂).
- c. Menghilangkan *hydrogen sulfide* (H₂S), metan (CH₄) 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 (CaCO₃) yang dapat menimbulkan masalah. Aerasi secara luas telah digunakan untuk pengolahan air yang mempunyai kandungan jumlah besi dan mangan terlalu tinggi zat tersebut memberikan rasa pahit pada air, menghitamkan pemasakan beras dan memberikan noda hitam kecoklat-coklatan pada pakaian yang dicuci. Oksigen yang berada di udara, melalui proses aerasi ini akan selanjutnya akan bereaksi dengan senyawa ferus dan manganous terlarut merubah menjadi ferri (Fe) dan *manganic oxide hydrate* yang tidak bisa larut. Setelah itu dilanjutkan dengan pengendapan (sedimentasi) atau penyaringan (filtrasi). Perlu dicatat bahwa oksidasi terhadap senyawa besi dan mangan di dalam air yang kecil (*waterfall aerators/aerator air terjun*) atau dengan mencampur air dengan gelembung gelembung udara (*bubble aerator*). Dengan kedua cara tersebut jumlah *oxygen* pada air bisa dinaikan 60 – 80% (dari jumlah oksigen yang tertinggi, yaitu air yang mengandung oksigen sampai jenuh) pada aerator air terjun (*waterfall aerator*) cukup besar bisa menghilangkan gas-gas yang terdapat dalam air (Qasim, 2000).

Penurunan *carbon dioxide* (CO₂) oleh *waterfall aerators* cukup berarti, tetapi tidak memadai apabila dari yang sangat *corrosive*. Pengolahan selanjutnya seperti pembubuhan kapur atau dengan saringan marmar atau dolomite yang dibakar masih dibutuhkan. Aerator Gelembung Udara (*Bubble Aerator*) jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi *bubble* (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari 0,3 – 0,5 m³ udara/m³ air dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan di aerasi (Qasim, 2000).

Jenis-Jenis Metode Aerasi, antara lain:

a. *Waterfall aerator* (aerator air terjun)

Pengolahan air aerasi dengan metoda *Waterfall/Multiple* aerator seperti pada gambar, susunannya sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruang yang kecil. Jenis aerator terdiri atas 4-8 *tray* dengan dasarnya penuh lobanglobang pada jarak 30-50 cm. Melalui pipa berlobang air dibagi rata melalui atas *tray*, dari sini percikan-percikan kecil turun ke bawah dengan kecepatan kira-kira 0,02 m /detik per m² permukaan *tray*. Tetesan yang kecil menyebar dan dikumpulkan kembali pada setiap *tray* berikutnya. *Tray- tray* ini bisa dibuat dengan bahan yang cocok seperti lempengan- lempengan absetos cement berlobang-lobang, pipa plastik yang berdiameter kecil atau lempengan yang terbuat dari kayu secara paralel.

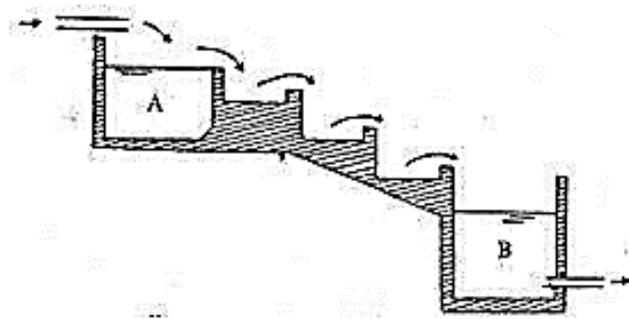


Gambar 2.2 *Waterfall aerator* (aerator air terjun)

(Sumber: discount-pumps.biz.com)

b. *Cascade Aerator*

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



Gambar 2.3 Cascade Aerator

(Sumber: researchgate.net)

Keterangan:

A = Air baku

B = Air sudah diaerasi

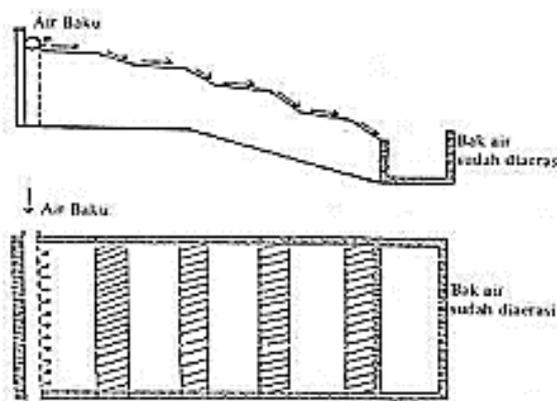
C = *Inlet*

D = Lubang pembersih

E = *Outlet*

c. *Submerged Cascade Aerator*

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

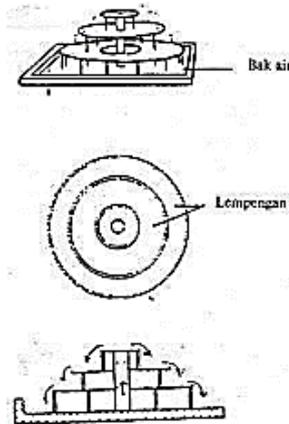


Gambar 2.4 Aerasi Tangga Aerator

(Sumber: researchgate.net)

d. *Multiple Platform Aerator*

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

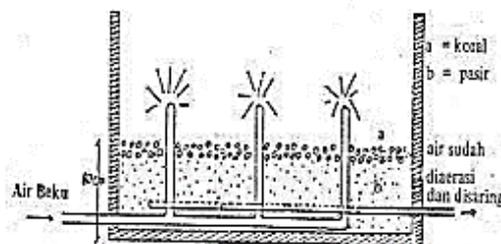


Gambar 2.5 *Multiple Platform Aerator*

(Sumber: *researchgate.net*)

e. *Spray Aerator*

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

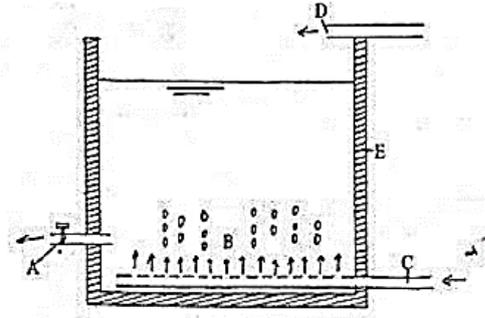


Gambar 2.6 *Spray Aerator*

(Sumber: *researchgate.net*)

f. Aerator Gelembung Udara (*Bubble aerator*)

Jumlah udara yang diperlukan untuk aerasi *bubble* (aerasi gelembung udara) tidak banyak, tidak lebih dari $0,3 - 0,5 \text{ m}^3 \text{ udara/m}^3 \text{ air}$ dan volume ini dengan mudah bisa dinaikan melalui suatu penyedotan udara. Udara disemprotkan melalui dasar dari bak air yang akan diaerasi.



Gambar 2.7 *Bubble Aerator*

(Sumber: *researchgate.net*)

Keterangan:

A = *Outlet*

B = Gelembung udara

C = Pipa berlubang buat udara

D = *Inlet* air baku

E = Bak air

Secara garis besar, desain dan karakteristik operasional aerator dapat digolongkan menjadi beberapa macam (Qasim, 2000) sebagai berikut:

Tabel 2.4 Desain dan Karakteristik Operasional Aerator

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Aerator Gravitasi:		
<i>Cascade</i>	20-45% CO ₂	Tinggi 1-3 m Luas: 85-105 m ₂ /m ₂ .det Kecepatan aliran: 0,3 m/det

Aerator	Penyisihan	Spesifikasi
Packing Tower	> 95% VOC > 90% CO ₂	Diameter kolom maksimum: 3 m Beban Hidrolik: 2000 m ³ /m ² .hari
Tray	> 90% CO ₂	Kecepatan 0,8 - 1,5 m ³ /m ² .menit Kebutuhan udara: 7,5 m ³ /m ² .air Jarak rak (<i>tray</i>): 30-75 cm Luas: 50-160 m ³ /m ² .det
Spray Aerator	70-90% CO ₂ 25 - 40 H ₂ S	Tinggi 1,2 - 9 m Diameter <i>nozzle</i> : 2,5-4 cm jarak <i>nozzle</i> : 0,6-3,6 m Debit <i>nozzle</i> : 5- 10 l/det
<i>Aerator Berdifusi</i>	80% VOCs	Luas Bak: 105-320 m ³ /m ² .det tekanan semprotan: 70 kPa waktu detensi: 10-30 menit Udara: 0,7-1,1 m ³ /m ² air tangka kedalaman: 2,7-4,5 Lebar: 3-9 m Lebar/kedalaman < 2 Volume maksimum: 150 m ³ Diameter lubang diffuser: 2-5 mm
Aerator Mekanik	70-90% CO ₂ 25-40 H ₂ S	waktu detensi: 10-30 menit kedalaman tangki: 2-4 m

(Sumber: Qasim, 2000)

Berikut rumus-rumus yang diperlukan dalam perhitungan aerasi diffuser:

- Debit Tiap Bak

$$Q = \frac{\text{debit awal}}{\text{jumlah bak}}$$

- Volume Bak Aerasi

$$V = Q \times t_d$$

Keterangan:

Q = debit air

Td= waktu detensi

- Dimensi Bak Aerasi

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

Mencari panjang dan lebar bak

$$A = P \times L$$

$$P = 2 \times L$$

Keterangan:

A = luas bak

P = Panjang bak

L = lebar bak

- Luas Tiap *Plate Disk*

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

Keterangan:

D = diameter pipa

- Jumlah *Plate* Yang Dibutuhkan

$$N = \frac{\text{Kebutuhan udara}}{\text{Flow range}}$$

- Jarak Antar *Disk/Plate*

- Jarak horizontal antar disk (Sh)

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

- Jarak vertical antar disk (Sv)

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

- 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

- Perhitungan kebutuhan oksigen (O_2)

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

- Perhitungan blower

$$P_w = wRT1/(550 \text{ ne}) [(P_2/P_1)^{n-1}]$$

2.4.3 Filtrasi

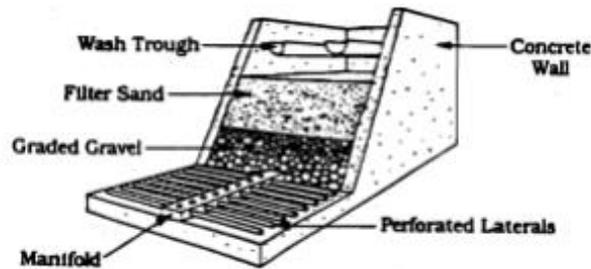
Menurut Al-Layla pada tahun 1978, partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Untuk lebih menyempurnakan proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air, dapat dilakukan dengan menggunakan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

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 (Al-Layla, 1978):

- 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 (Reynolds & Richard, 1996).



Gambar 2.8 Bagian – bagian filter

(Sumber: Reynolds & 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 (1978), pada proses purifikasi air, *rapid sand filters* memiliki hasil *effluent* yang lebih baik jika dibandingkan dengan *slow sand filters*. Kecepatan pada *rapid sand filters* ini cukup tinggi dan laju berkisar antara 4-5 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ (namun terkadang laju filtrasi nya dapat lebih dari 6 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$). Ukuran pasir efektif digunakan pada filter ini berkisar antara 0,45 - 0,55 mm. Lapisan filter ini bila dilihat dari bawah terdiri dari gravel dengan tebal berkisar antara 38 - 60 cm, sedangkan di atasnya terdapat pasir yang tebalnya kurang lebih 80 cm. Proses *backwash* pada *rapid sand filter* berbeda dengan *slow sand filter*. Pada *rapid sand filters* waktu *backwash* ditentukan dari *headloss* 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 mm

Untuk dual media: UC = 1,4 – 1,9
 ES = 0,5 – 0,7 mm

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

Tabel 2.5 Kriteria Perencanaan Filter Pasir Cepat

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
1.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 – 11	6 – 11

No.	Unit	Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dengan Pencucian Antar Saringan
2.	Pencucian: Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i>	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i>
	Kecepatan (m/jam)	36 – 50	36 – 50
	Lama pencucian (menit)	10 – 15	10 – 15
	Periode antar dua pencucian (jam)	18 – 24	18 – 24
	Ekspansi (%)	30 – 50	30 – 50
3.	Dasar filter		
	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 <i>slot</i> nozel (mm)	<0,5	<0,5
	- Persentase luas <i>slot nozel</i> terhadap luas filter (%)	>4%	>4%

(Sumber: SNI 6774-2008)

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

a. Saluran *Inlet* bak filtrasi

- Debit Saluran Pembawa (Q)

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

- Luas Permukaan Bak Filtrasi (A)

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

- Lebar Bak (W)

$$A = L \times W$$

$$A = 2W \times W$$

- Panjang Bak (L)

$$L = 2 \times W$$

- Kedalaman (H)

$$A = W \times L \times H$$

- Kedalaman Total (H Total)

$$H \text{ total} = H \text{ saluran} + \text{freeboard}$$

b. Kehilangan Tekanan Media Filtrasi

- Nilai Nre Antrasit

$$Nre = \frac{\text{shape factor } (\emptyset) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Antrasit

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

- Kehilangan Tekanan Antrasit

$$H1 = \frac{1,067}{\emptyset} \times \frac{d}{g} \times \frac{(va^2)}{\epsilon^4} \times \frac{Cd}{d}$$

- Nilai Nre Pasir

$$Nre = \frac{\text{shape factor } (\emptyset) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Pasir

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

- Kehilangan Tekanan Pasir

$$H_2 = \frac{1,067}{\emptyset} \times \frac{d}{g} \times \frac{(va^2)}{\epsilon^4} \times \frac{Cd}{d}$$

- Nilai Nre Garnet

$$N_{re} = \frac{\text{shape factor } (\emptyset) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Garnet

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

- Kehilangan Tekanan Garnet

$$H_3 = \frac{1,067}{\emptyset} \times \frac{d}{g} \times \frac{(va^2)}{\epsilon^4} \times \frac{Cd}{d}$$

c. *Backwash*

- Nilai Nre Antrasit

$$N_{re} = \frac{\text{shape factor } (\emptyset) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Antrasit

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

- Kecepatan Pengendapan Partikel Antrasit

$$V_s = \left[\frac{4 \times g}{3 \times C_d} \times (sg - 1) \times d \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Kecepatan *Backwash* Antrasit

$$V_b = v_s \times \epsilon^{4,5}$$

- Porositas Media Terekspansi (ϵe) Antrasit

$$\epsilon e = \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{0,22}$$

- Debit *Backwash* Antrasit

$$Q_b = V_b \times Q$$

- Kehilangan Tekanan Awal *Backwash* Antrasit

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

- Tinggi Ekspansi Media Transit Antrasit

$$Le1 = D \times \frac{(1 - \epsilon)}{(1 - \epsilon e)}$$

- Nilai Nre Pasir

$$Nre = \frac{\text{shape factor } (\phi) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Pasir

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

- Kecepatan Pengendapan Partikel Pasir

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

- Kecepatan *Backwash* Pasir

$$Vb = vs \times \epsilon^{4,5}$$

- Porositas Media Terekspansi (ϵe) Pasir

$$\epsilon e = \left(\frac{Vb}{Vs} \right)^{0,22}$$

- Debit *Backwash* Pasir

$$Qb = Vb \times Q$$

- Kehilangan Tekanan Awal *Backwash* Pasir

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

- Tinggi Ekspansi Media Transit Pasir

$$Le2 = D \times \frac{(1 - \epsilon)}{(1 - \epsilon e)}$$

- Nilai Nre Garnet

$$Nre = \frac{\text{shape factor } (\phi) \times \text{massa jenis } (\rho) \times \text{diameter } (d) \times \text{kec.filtrasi } (va)}{\mu}$$

- Koefisien Drag Garnet

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

- Kecepatan Pengendapan Partikel Garnet

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

- Kecepatan *Backwash* Garnet

$$V_b = v_s \times \varepsilon^{4,5}$$

- Porositas Media Tereksansi (ε) Garnet

$$\varepsilon = \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{0,22}$$

- Debit *Backwash* Garnet

$$Q_b = V_b \times Q$$

- Kehilangan Tekanan Awal *Backwash* Garnet

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

- Tinggi Ekspansi Media Transit Garnet

$$Le_3 = D \times \frac{(1 - \varepsilon)}{(1 - \varepsilon \varepsilon)}$$

d. Sistem Manifold

- Luas Pipa (A) Pipa Manifold

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

- Diameter Pipa (D) Pipa Manifold

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

- Kecepatan Aliran Pipa (V) Pipa Manifold

$$V_{cek} = \frac{Q}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

- Panjang Pipa (L) Pipa Manifold

$$L = \text{Panjang Bak Filtrasi}$$

- Diameter Pipa (D) Pipa Lateral

$$D = 1/3 \text{ Diameter pipa manifold}$$

- Luas Pipa (A) Pipa Lateral

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

- Debit Tiap Pipa Pipa Lateral

$$Q = v \times A$$

- Jumlah Pipa Pipa Lateral

$$n = \frac{\text{Debit tiap bak filtrasi (Q)}}{\text{Debit tiap pipa lateral}}$$

- Jumlah Pipa Tiap Sisi Pipa Lateral

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

- Cek Debit Pipa Lateral

$$Q \text{ cek} = \frac{\text{Debit tiap bak filtrasi (Q)}}{\text{Jumlah pipa lateral}}$$

- Panjang Pipa Lateral Pipa Lateral

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

- Luas Lubang Pipa Orifice

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

- Jumlah Lubang Tiap Bak Pipa Orifice

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

- Jumlah Orifice Tiap Pipa Orifice

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

e. Pipa *Outlet*

- Luas Penampang Pipa *Outlet* (A)

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

- Diameter Pipa *Outlet* (D)

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

- Luas Penampang (A) Pipa *Outlet*

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

- Kecepatan Aliran (V) Pipa *Outlet*

$$H = \frac{\text{Debit bak filtrasi}}{\text{Luas penampang}}$$

- Hf Mayor

$$H_f \text{ Mayor} = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

- Head Kecepatan

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

- Hf Minor

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

- *Headloss* Total

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

f. Volume Air Untuk Pencucian

- Luas Bak *Backwash*

$$A = L \times W$$

- Volume Air Untuk *Backwash*

$$V \text{ backwash} = A \times v \times t \text{ backwash}$$

- Debit *Backwash*

$$Q \text{ backwash} = \frac{V \text{ backwash}}{t \text{ backwash}}$$

g. Saluran Gutter (Pelimpah)

- Kedalaman Air Pada Gutter

$$H_0 = 1,73 \times \left[\frac{Q^2}{g \times L} \right]^{1/3}$$

- Lebar Gutter

$$W_w = 1,5 \times H_0$$

- Tinggi Gutter

$$H_w = H_0 + (F_b \times H_0)$$

h. Tinggi Bak Filtrasi

- Tinggi Bak Filtrasi

$$H \text{ total} = \text{tinggi media (antrasit + pasir + garnet)} + \text{tinggi total gutter} + \text{diameter pipa manifold}$$

- Tinggi Total Bak Filtrasi

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

- Panjang Ruang Penampung *Backwash*

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

- Pipa Drain *Backwash*

- Luas Penampang Pipa

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

- Diameter Pipa Drain

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

- Cek Kecepatan Aliran pipa

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

2.4.4 Desinfeksi

Salah satu persyaratan kualitas air minum adalah persyaratan mikrobiologis, (harus bebas mikroorganisme patogen). Desinfeksi ialah proses membebaskan air minum dari mikroorganisme patogen. Metode disinfeksi secara umum ada dua, yaitu cara fisik dan cara kimiawi. Desinfeksi secara fisik adalah perlakuan fisik terhadap mikroorganisme, yaitu panas dan cahaya yang mengakibatkan matinya mikroorganisme. Sedangkan metode disinfeksi secara kimiawi adalah memberikan bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan tersebut dengan mikroorganisme yang berakibat matinya mikroorganisme tersebut. Desinfeksi secara kimia menggunakan larutan kaporit, gas klor dan gas ozon. Sedangkan disinfeksi secara fisik menggunakan gelombang mikro dan sinar ultraviolet. Untuk membunuh mikroorganisme bersifat patogen terkandung dalam air, desinfektan/bahan disinfeksi yang digunakan adalah kaporit, bromin klorida, gas klor, gas iod, ozon dan Kalium Permanganat (Said, 2009). Kemampuan disinfeksi dalam pengolahan air minum adalah:

- Menghilangkan bau.
- Mematikan alga.

- c. Mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.
- d. Mengoksidasi ammonia menjadi senyawa amin.
- e. Mengoksidasi fenol menjadi fenol yang tidak berbahaya.

Macam-macam faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah:

- a. Waktu kontak.
- b. Konsentrasi desinfeksi.
- c. Jumlah mikroorganisme.
- d. Temperatur air.
- e. pH.
- f. Adanya senyawa lain dalam air.

Dalam perancangan kali ini, kami menggunakan metode desinfeksi dengan gas klor. Metode ini bertujuan untuk mengoksidasi logam-logam, membunuh mikroorganisme seperti plankton dan juga membunuh spora dari lumut, jamur, dan alga. Konsentrasi yang diberikan adalah 2-3 gr/m³ air, tergantung pada turbiditas air. Klorin digunakan karena memiliki kecepatan oksidasi lebih besar dari aerasi, dan mampu mengoksidasi besi yang berikatan dengan zat organik. pH yang baik pada 8 - 8,3 oksidasi besi membutuhkan waktu 15-30 menit. Pada umumnya proses standar penurunan Fe dan Mn menggunakan koagulasi dengan alum, flokulasi, pengendapan, dan filtrasi dengan didahului proses preklorinasi. Dosis sisa klor yang dianjurkan 0,2-0,5 mg/l (Said, 2009). Perlu dilakukan percobaan Daya Pengikat Chlor (DPC) untuk mengetahui dosis senyawa chlor (Cl₂) yang dibutuhkan oleh air untuk proses desinfeksi (membunuh bakteri). Daya Pengikat Chlor ditentukan cara selisih antara chlor yang dibubuhkan dengan sisa chlor setelah kontak setelah kontak selama 30 menit.

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

- Kebutuhan Kaporit

$$\text{Keb. Kaporit} = \text{Dosis Klor} \times \text{Debit Air Baku (Q)}$$

- Kebutuhan Kaporit Kadar 60%

$$\text{Kadar 60\%} = \frac{100\%}{60\%} \times \text{Kebutuhan kaporit}$$

- Debit Kaporit

$$Q \text{ Kaporit} = \frac{\text{Kebutuhan kaporit}}{\text{Densitas kaporit}}$$

- Debit Air

$$Q \text{ Air} = \frac{100\% - 5\%}{5\%} \times Q \text{ Kaporit}$$

- Debit Larutan

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

- Volume Tangki

$$V \text{ bak} = Q \text{ larutan} \times \text{Periode Pelarutan}$$

- Diameter Bak

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

Keterangan:

D = diameter bak

H = tinggi bak

- *Freeboard* Bak

$$Fb = 20\% \times H$$

- H Total Bak

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

Keterangan:

Fb = *freeboard*

- Daya Pengadukan (Power)

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

Keterangan:

G = gradien kecepatan

M = viskositas absolut

- Cek Nre

$$\text{Cek Nre} = \frac{n \times \rho \times D_i^2}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter *impeller*

n = kecepatan putaran *propeller*

ρ = massa jenis klor
 μ = viskositas absolut

- Cek Di

$$\text{Cek Di} = \frac{D_i}{D} \times 100\%$$

Keterangan:

D_i = diameter *impeller*

- Jarak *impeller* dengan dasar (H_i)

$$H_i = 50\% \times D_i$$

- Lebar *impeller* (W_i)

$$W_i = \frac{D_i}{8}$$

- Cek lebar *impeller* (Cek W_i)

$$\text{Cek } W_i = \frac{W_i}{D_i}$$

- Debit Penetasan

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

- Diameter Pipa Injeksi

$$D \text{ Pipa Injeksi} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi \times v}}$$

Keterangan:

Q = debit air

v = kecepatan aliran pipa

- Cek Kecepatan

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

Keterangan:

Q = debit air

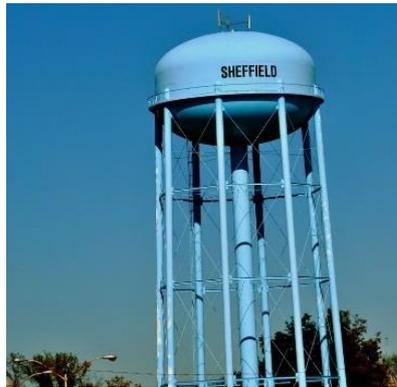
D = diameter pipa

- Q Larutan

$$Q \text{ Larutan} = L/\text{hari}$$

2.4.5 Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan air bersih, pada sistem penyediaan air bersih. 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. Dalam perancangan kali ini menggunakan Reservoir Menara dimana seluruh bagian penampungan dari Reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.



Gambar 2.9 Reservoir Menara
(Sumber: water.towers.com)

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

a. Reservoir Tanki 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.



Gambar 2.10 Reservoir Tangki Baja

(Sumber: aladintirta.blogspot.com)

b. 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.



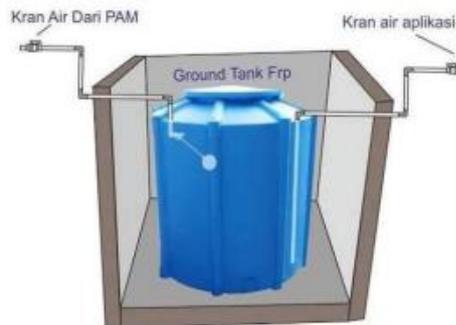
Gambar 2.11 Reservoir Beton Cor

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

c. 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.



Gambar 2.12 Reservoir Fiberglass

(Sumber: <http://www.garudajaya.com>)

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

- Waktu Tinggal (td)

$$td = V \times Q$$

Keterangan:

V = volume bak reservoir (m^3)

Q = debit air yang dipompa

td = waktu tinggal ($m^3/detik$)

- Kecepatan Aliran (v)

$$v = A \times H$$

Keterangan:

A = luas permukaan (m^2)

H = kedalaman air (m)

v = kecepatan aliran (m^3)

- Dimensi Bak Reservoir

$$V = P \times L \times H$$

Keterangan:

P = panjang bak (m)

L = lebar bak (m)

H = ketinggian bak (m)

V = volume bak (m³)

- Kedalaman Total (H_{total})

$$H_{total} = H + (fb \times H) + H \text{ ruang lumpur}$$

Keterangan:

H = ketinggian bak (m)

fb = *freeboard*

- Jari-jari Hidrolis

$$R = \frac{w \times H}{w \times 2H}$$

Keterangan:

W = lebar bak (m)

H = tinggi bak (m)

R = jari-jari (m)

- Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Inlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- Pipa *Outlet*

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

Keterangan:

d = diameter pipa (m)

- Kecepatan Aliran Pipa *Outlet*

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

Keterangan:

A = luas bak (m²)

Q = debit air

- *Headloss*

- *Headloss Mayor*

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

- *Headloss Minor*

$$H_f \text{ minor} = k_1 \cdot \frac{v^2}{2g} + (n \times k_2 \cdot \frac{v^2}{2g})$$

- *Headloss Total*

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

2.5 Persen Removal

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

Tabel 2.6 Persen Penyisihan Unit Pengolahan Air Minum

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
Bak 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. <i>Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes</i> , 4(4), 63–76.
	BOD	74.63%	
	TDS	12.83%	
	DO	40%	

Unit Digunakan	Beban Pencemar	Kemampuan Penyisihan	Sumber/Literatur
	N-Total	66.6%	https://doi.org/10.2478/v10189-011-0017-9
	P-Total	83%	Ariyanto, E., Melani, A., & Anggraini, T. (1846). Penyisihan Po 4 Dalamair Limbah Rumah Sakit Untuk Produksi Struvite. <i>Jurnal.Ftumj</i> , November 2015, 1–8.
Bak 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. <i>5(2)</i> , 1–5.
	BOD	70%	Yogafanny, E. (2019). <i>Rapid Lava Sand Filtration for Decentralized Produced Water Treatment System in Old Oil Well Wonocolo</i> . <i>Journal of the Civil Engineering Forum</i> , <i>5(2)</i> , 113. https://doi.org/10.22146/jcef.43760
	TDS	4%	
	Kekeruhan	96.48%	
Bak Disinfeksi	T-Coliform	98.21%	Busyairi, M., Dewi, Y. P., & Widodo, D. I. (2016). Efektivitas Kaporit Pada Proses Klorinasi Terhadap Penurunan Bakteri Coliform Dari Limbah Cair Rumah Sakit X Samarinda. <i>Jurnal Manusia Dan Lingkungan</i> , <i>23(2)</i> , 156–162.

(Sumber: Literatur tertera pada tabel)

2.6 Pipa Hidrolis

Profil hidrolis adalah gambaran 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.

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,0015 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

Dimana:

H_f = 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.

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

Dimana:

f = Koefisien Darcy = $1,5 \times \left(0,01989 + \frac{0,000508}{4R} \right)$

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.

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

Dimana:

n = Koefisien kekasaran manning

R = Jari-jari *hidrolis*

L = Panjang jatuhan atau belokan (m)