

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah yang di Rencanakan

Rumah sakit merupakan institusi pelayanan kesehatan yang cukup besar dibanding dengan jenis fasilitas pelayanan kesehatan lainnya. Selain memberikan pelayanan yang baik kepada pasien, rumah sakit juga perlu menyediakan lingkungan sehat yang turut menjadi instrumen pendukung pemulihan pasien. Maka dari itu, segala aspek sanitasi rumah sakit harus dijaga dengan baik. Adapun lingkup sanitasi rumah sakit salah satunya adalah sarana pengolahan air limbah. Sumber air limbah rumah sakit menurut Budiman (2007) , dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Air limbah infeksius: Air limbah yang berhubungan dengan tindakan medis, seperti pemeriksaan dan perawatan pasien.
2. Air limbah umum (tidak beresiko): merupakan limbah cair yang tidak berhubungan dengan tindakan medis dan serupa dengan limbah domestik. Seperti limbah kamar mandi, dapur, laundry rumah sakit, dan lain-lain.
3. Air limbah kimia: merupakan air limbah yang bersumber dari bahan kimia dalam tindakan medis, laboratorium, sterilisasi, riset, dan lain-lain.

Adapun limbah cair umum rumah sakit memiliki karakteristik yang sama dengan limbah domestik pemukiman dalam sisi parameteranya.

2.1.1 Suhu

Temperatur atau suhu merupakan parameter fisik dari limbah cair. Temperatur air limbah berperan penting terhadap reaksi kimia dan laju raksi dan kehidupan mikroorganisme di dalamnya. Hal itu dikarenakan suhu memengaruhi konsentrasi oksigen yang terlarut dalam air limbah. Kenaikan suhu akan berbanding terbalik dengan kelarutan oksigen (Sitorus, dkk., 2021).

Pada penelitian Manurung dkk, (2014) pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin diketahui uji suhu berurutan dari minggu pertama berkisar: 34,3°C; 34,5°C; 34,8°C; 35,1°C; dan 35,4°C. Sedangkan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan

kesehatan. Maka nilai tersebut masih cukup melampaui standart temperatur limbah cair umum rumah sakit yakni 38°C.

2.1.2 pH

Nilai pH ditentukan oleh konsentrasi ion hidrogen dalam air, semakin besar konsentrasi ion hidrogen dalam air semakin rendah nilai pH dan perairan semakin bersifat toksik. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH, dan menyukai kondisi pH yang berkisar antara 7,0 – 8,5. Kondisi pH sangat mempengaruhi dinamika kimiawi unsur/senyawa dan proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan terhambat dengan menurunnya pH perairan. Namun demikian, logam berat dalam kondisi ionnya dan meningkatkan tingkat toksisitasnya pada pH yang rendah. Penurunan pH perairan mulai dari pH 6 akan mempengaruhi kelimpahan keanekaragaman plankton dan bentos, sementara pH 5 kebawah akan mempengaruhi penurunan yang signifikan pada biomassa zooplankton dan peningkatan filamen algae hijau, dan pada pH 4 sebagian besar tumbuhan hijau akan mati (Budiarsa, 2015).

Adapun penelitian Manurung dkk, (2014) pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin diketahui uji pH berurutan dari minggu pertama berkisar: 6,34; 6,86; 6,60; 6,83; dan 6,91. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan. Maka nilai tersebut masih cukup melampaui standart pH limbah cair umum rumah sakit yakni 6-9.

2.1.3 Total Suspended Solid

Umumnya limbah mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi / penyaringan (Metcalf & Eddy, 2003).

Kandungan TSS tersisihkan sering berubah, bergantung pada ukuran pori dari kertas saring yang digunakan pada proses pengujian. Hal tersebut karena sebuah filter dapat digunakan untuk memisahkan Total Suspended Solid (TSS) dari Total Dissolve Solid (TDS). Jumlah TSS yang lebih akan teridentifikasi apabila menggunakan ukuran

porositas kertas saring yang lebih kecil. TSS merupakan parameter universal yang digunakan untuk standart effluent (bersama dengan BOD) yang mana hasil dari pengolahan digunakan untuk proses pengontrolan (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun berdasarkan Manurung (2014), dilakukan pengujian kadar TSS pada inlet mingguan dan diperoleh hasil sebesar 88 mg/L, 56 mg/L, 73 mg/L, 67 mg/L dan 184 mg/L berturut-turut dari minggu pertama. Hasil tersebut masih jauh melampaui ambang batas baku mutu yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan.dengan kisaran nilai 30 mg/L.

2.1.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Penentuan BOD limbah 5 hari atau (BOD_5) merupakan parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencemaran organik pada air limbah dan air permukaan Penentuan ini didasarkan pada pengukuran oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam proses oksidasi biokimia pada bahan organik (Metcalf & Eddy, 2003). Menurut Metcalf & Eddy (2003), pada umumnya hasil analisa BOD digunakan untuk :

1. Menentukan perkiraan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilkan bahan organik secara biologis.
2. Menentukan ukuran fasilitas pengolahan limbah.
3. Menghitung efisiensi dari beberapa proses pengolahan.
4. Menentukan pemenuhan izin pembuangan air limbah. Oleh karena itu, kemungkinan bahwa pengujian BOD_5 akan terus digunakan pada waktu tertentu, hal ini penting untuk mengetahui secara rinci dari proses pengujian dan batasan-batasannya.

Pada penelitian Manurung dkk, (2014) pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin diketahui nilai BOD berurutan dari minggu pertama berkisar: 64,7 mg/L; 21,8 mg/L; 58,6 mg/L; 91,4 mg/L; dan 118 mg/L. Sedangkan bila dikaji dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan. maka nilai tersebut masih cukup jauh dari standart BOD limbah cair domestik rumah sakit yakni 30 mg/L.

2.1.5 Chemical Oxygen Demand

Chemical Oxygen Demand atau COD merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung jumlah oksigen dari bahan organik air limbah yang dapat dioksidasi secara kimiawi menggunakan dikromat dalam asam, sebagai gambaran perhatikan rumus reduksi organik nitrogen (angka oksidasi = -3) (Metcalf & Eddy, 2003). Meskipun dapat diprediksi nilai BOD ultimate sama tinggi dengan COD, dalam kasus ini dapat dikategorikan berbeda. Menurut Metcalf & Eddy (2003), beberapa alasan hal tersebut dikategorikan berbeda adalah karena :

1. Banyak bahan organik yang sulit dioksidasi secara biologi (seperti lignin) dapat dioksidasi secara kimia.
2. Bahan anorganik yang dioksidasi dengan dikromat meningkatkan kadar organik secara nyata dalam sampel.
3. Bahan organik tertentu yang bersifat racun bagi mikroorganisme juga digunakan saat uji BOD.
4. Tingginya nilai COD karena adanya bahan anorganik yang dapat bereaksi dengan dikromat.

Bila ditinjau dari segi operasional, salah satu keuntungan dari uji COD yaitu dapat dilakukan hanya dalam sekitar 2,5 jam, tidak sebanding dengan proses pengujian BOD₅ yang membutuhkan 5 hari lebih untuk proses pengujiannya. Untuk mengurangi durasi pengujian COD, telah dikembangkan proses pengujian COD yang hanya membutuhkan waktu sekitar 15 menit (Metcalf & Eddy, 2003).

Adapun berdasarkan Manurung (2014), dilakukan pengujian kadar COD pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin. Kemudian diperoleh hasil sebesar 139 mg/L, 48,3 mg/L, 129 mg/L, 198 mg/L dan 247 mg/L berturut-turut dari minggu pertama. Hasil tersebut masih cukup melampaui ambang batas baku mutu COD yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan. Untuk air buangan domestik rumah sakit dengan kisaran nilai 80 mg/L. Namun untuk pengujian pada minggu ke-2, masih cukup dibawah ambang batas.

2.1.6 $\text{NH}_3\text{-N}$

Senyawa kimia dengan rumus NH_3 yang disebut ammonia merupakan salah satu indikator pencemaran udara pada bentuk kebauan. Gas ammonia adalah gas yang tidak berwarna dengan bau menyengat, biasanya ammonia berasal dari aktifitas mikroba, industri ammonia, pengolahan limbah dan pengolahan batu bara. Ammonia di atmosfer akan bereaksi dengan nitrat dan sulfat sehingga terbentuk garam ammonium yang sangat korosif (Yuwono, 2010). Memiliki sifat mudah larut dalam air. Ion ammonium merupakan transisi dari ammonia, selain terdapat dalam bentuk gas ammonia juga dapat berbentuk kompleks dengan beberapa ion logam (Effendi, 2003).

Selain sebagai sumber energi dalam proses nitrifikasi bakteri aerobik, ammonia dibedakan menjadi dua bentuk yaitu ammonia tidak terionisasi dan ammonia terionisasi. Ammonia yang tidak terionisasi bersifat racun dan akan mengganggu syaraf pada ikan sedangkan ammonia yang terionisasi memiliki kadar racun yang rendah. Daya racun ammonia dalam air akan meningkat saat kelarutan oksigen rendah. Keberadaan bakteri pengurai sangat berpengaruh terhadap persediaan oksigen yang secara alami terlarut dalam air. (Effendi, 2003).

Berdasarkan Manurung (2014), dilakukan pengujian kadar NH_3 pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin. Kemudian diperoleh hasil sebesar 0,004 mg/L, 0,003 mg/L, 0,004 mg/L, 0,005 mg/L dan 0,007 mg/L berturut-turut dari minggu pertama. Hasil tersebut masih cukup melampaui ambang batas baku mutu NH_3 yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan untuk air buangan domestik rumah sakit dengan kisaran nilai 1 mg/L.

2.1.7 Fosfat

Unsur *Phospor* (P) merupakan unsur yang berpengaruh dalam pertumbuhan alga dan organisme biologi lainnya. Setiap senyawa fosfat terdapat dalam bentuk terlarut tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme air (Sitorus, dkk., 2021). Fosfor terbagi menjadi tiga bentuk, yaitu senyawa fosfat anorganik atau ortofosfat, metafosfat atau polifosfat, dan fosfat organik. Di alam, fosfor terdapat pada batuan dan deposit mineral. Karena adanya perubahan iklim, batuan tersebut melepas fosfor secara gradual dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}) yang larut pada air. Ortofosfat merupakan bentuk senyawa yang siap diserap oleh fitoplankton dan tanaman air. Dengan demikian

keberadaan senyawa tersebut dalam jumlah yang tinggi dapat memicu adanya eutrofikasi yang berdampak pada kelarutan oksigen pada badan air (Retnaningdyah, 2019).

Pada penelitian Manurung dkk, (2014) pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin diketahui nilai fosfat dalam bentuk *orthophospat* (PO_4-P) berurutan dari minggu pertama berkisar: 7,61 mg/L; 1,74 mg/L; 3,58 mg/L; 10,6 mg/L; dan 14,2 mg/L. Sedangkan bila menurut dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. standart ortofofat limbah cair umum rumah sakit berkisar 2 mg/L.

2.1.8 Total Coliform

Coliform merupakan bakteri yang selalu ada dalam pencernaan hewan dan manusia yang ditemukan dalam limbah. Bakteri yang termasuk dalam kelompok ini adalah *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. *Escherichia coli* merupakan bakteri yang hanya ditemukan dan berasal dari feses hewan berdarah panas maupun pada manusia (Sutapa, 2006). Ciri-ciri bakteri Coliform antara lain termasuk bakteri gram negatif, berbentuk batang, tidak membentuk spora, bersifat aerob atau anaerob fakultatif, bakteri Coliform memproduksi gas dari glukosa (gula lainnya) dan memfermentasi laktosa menjadi asam dan gas dalam waktu 48 jam pada suhu 35°C (Batt, 2014).

Bakteri Coliform terutama *E. coli* menjadi indikasi dari kontaminasi fekal pada air minum dan makanan. Kehadiran bakteri Coliform dinilai untuk menentukan keamanan mikrobiologi dari pasokan air dan makanan mentah atau makanan yang diolah. *E. coli* dapat menyebabkan infeksi ekstraintestinal maupun intrainestinal. Infeksi ekstraintestinal yang disebabkan oleh *E. coli* seperti kolesistitis, apendisitis, peritonitis, ataupun infeksi pada luka. Sedangkan infeksi intrainestinal biasanya disebabkan oleh *E. coli* patogen seperti *E. coli* enteropatogenik dan *E. coli* enterotoksigenik yang dapat menyebabkan diare (Arnia & Efrida, 2013).

Adapun berdasarkan pengujian total coliform pada inlet mingguan RSUD dr. H. M. Ansari Saleh Banjarmasin. Kemudian diperoleh hasil MPN/100 ml dari minggu pertama yakni sebesar 68.000.000, minggu ke-2 sebesar 1.130.000, minggu ke-3 sebesar 2.940.000, minggu ke-4 sebesar 1.300.000, dan minggu ke-5 sebesar 68.000.000. hasil tersebut masih cukup melampaui ambang batas baku mutu coliform

yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia no. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada lampiran XLIV baku mutu air limbah usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan. Untuk air buangan umum rumah sakit dengan kisaran nilai 5000 mpn/100ml.

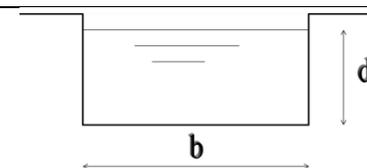
2.2 Bangunan Pengolahan Air Buangan

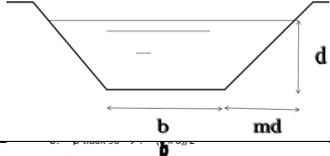
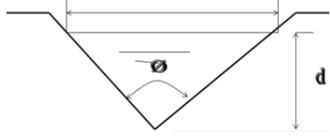
Dalam pengelolaannya, limbah-limbah rumah sakit B3 dengan limbah umum harus dipisahkan sejak dari sumbernya berdasarkan karakteristiknya tersebut. Namun apabila keduanya tidak sengaja tercampur, maka campuran limbah tersebut dikategorikan sebagai limbah B3. Hal itu dikarenakan bahaya dari limbah infeksius atau B3 bila terepapar manusia secara langsung dapat menimbulkan dampak-dampak yang signifikan walaupun kadarnya sedikit. Adapun setiap jenis limbah umum akan diolah pada instalasi pengolahan limbah atau diberikan kepada pihak ketiga

2.3.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa air limbah (sewer) adalah perlengkapan unit pengelolaan air limbah, dapat berupa pipa maupun selokan. Saluran ini digunakan untuk menyalurkan air buangan dari sumbernya sampai ke tempat unit pengelolaan ataupun tempat pembuangan (Rahmayanti, 2006). Saluran pembawa dibedakan menjadi saluran pembawa terbuka dan tertutup. Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau perbedaan elevasi antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Pada saluran pembawa, setiap 10 m saluran pembawa terdapat bak kontrol. Atau apabila terjadi jika ada ukuran screen lebih besar dari saluran, maka peletakan screen dipasang di bak kontrol. Perlu diketahui apabila saluran pembawa ini di atas lahan yang datar, maka diperlukan kemiringan/slope (m/m). terdapat beberapa tipe saluran pembawa, namun yang biasaya digunakan terdapat 3 tipe. Adapun tipe tersebut dibedakan berdasarkan bentuk potongan melintang saluran. Terdapat tipe saluran berbentuk segiempat, trapesium, maupun segitiga. Adapun bentuk penampangnya dan material bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tipe Saluran Pembawa

no	Tipe saluran	Potongan melintang
1	Bentuk segiempat	

no	Tipe saluran	Potongan melintang
2	Bentuk trapesium	
3	Bentuk Segiempat	

(Sumber : Adiwijaya, 2016)

Kriteria Perencanaan :

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

- Kemiringan / Slope maksimal (s_{max}) = 0,005-0,02 m/m

(Sumber: Adiwijaya. 2016)

- Freeboard = 5-30% terhadap ketinggian saluran

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959)

- Kekasaran saluran (n):

Tabel 2.2 Nilai Koefisien Kekerasan Manning

Bahan Saluran	n Manning
Kuningan yang dihaluskan	0,010
Baja yang Lockbar dan dilas	0,012
Baja sambungan dan spiral	0,016
Besi tuang	0,013
Beton culvert	0,013
Kayu	0,012
Tanah liat	0,013
Bata berlapis	0,013
Cement	0, 011

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959)

Rumus Perhitungan

1. Luas Permukaan

$$A = \frac{Q \left(\frac{m^3}{detik} \right)}{v \left(\frac{m^3}{detik} \right)}$$

Keterangan:

- A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)
- Q = Debit Limbah (m³/detik)
- v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m³/detik)

2. Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A (m^2)}{B (m)}$$

Keterangan:

- H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)
- A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)
- B = Lebar Saluran Pembawa (m)

3. Ketinggian Total

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

Keterangan:

- H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)
- Freeboard = 20%

4. Cek Kecepatan

$$v = \frac{Q (m^3/detik)}{A (m^2)}$$

Keterangan:

- A = Luas Permukaan Saluran Pembawa (m²)
- Q = Debit Limbah (m³/detik)
- v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m³/detik)

5. Jari-Jari Hidrolis

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

Keterangan

- R = Jari – jari Hidrolis (m)
- H = Ketinggian Air dalam Saluran Pembawa (m)
- B = Lebar Saluran Pembawa (m)

6. Kemiringan (Slope)

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

Keterangan

s = Kemiringan Saluran / Slope (m/m)

n = Koefisien Manning Bahan Penyusun Saluran Pembawa

v = Kecepatan Alir Fluida dalam Saluran Pembawa (m³/detik)

R = Jari – jari Hidrolis (m)

2.3.2 Screen

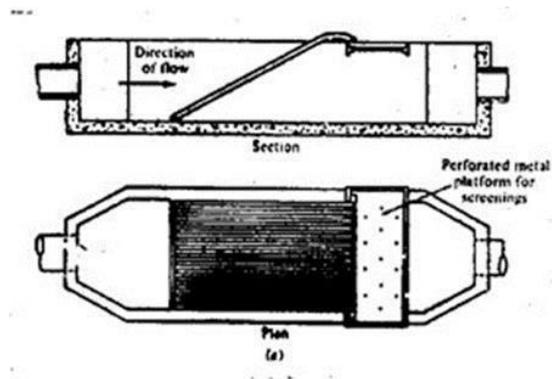
Menurut Metcalf & Eddy (2003), Screen merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan. Screen atau penyaring memiliki prinsip kerja menghilangkan material kasar yang terdapat pada aliran air buangan yang dapat menyebabkan:

1. kerusakan pada alat pengolahan,
2. mengurangi efektifitas pengolahan dan biaya pada proses pengolahan,
3. kontaminasi pada aliran air.

Sewer atau saluran pembawa memiliki kriteria kecepatan arah aliran minimal 0.3 m/detik. Umumnya screen diletakkan diantara saluran pembawa dan sumur pengumpul. Screen biasanya terdiri atas batangan yang disusun secara paralel. Screen pada umumnya terbuat dari batangan logam, kawat, jeruji besi, kawat berlubang, bahkan perforated plate dengan bukaan yang berbentuk lingkaran atau persegi. Terdapat 3 macam screen yang dibedakan berdasarkan jarak rongga bar screen, yakni penyaring kasar / *coarse screen*, penyaring halus / *fine screen*, dan *microscreen* (Metcalf & Eddy, 2003).

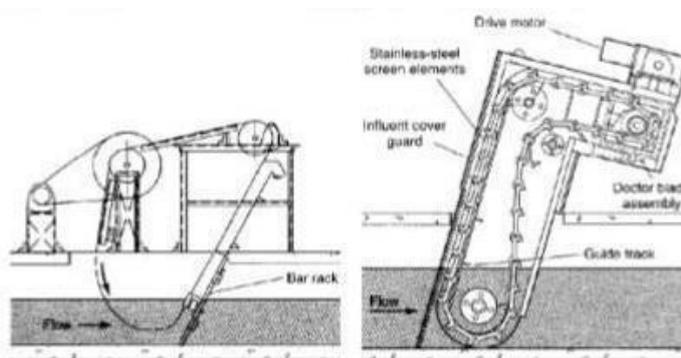
A. Penyaring Kasar (*Coarse Screen*)

Menurut Metcalf & Eddy (2003), penyaring ini digunakan untuk menahan material berukuran 6-150 mm, seperti ranting kayu, kain, dan sampah-sampah lainnya, agar tidak ikut masuk dalam aliran air. Hal ini untuk mengantisipasi penyumbatan dan kerusakan pada pompa, katup, saluran pipa dan peralatan lainnya akibat lolosnya material tersebut. Material yang tersaring screen dapat dibersihkan dengan dua cara, yakni secara manual (dengan tenaga manusia) atau mekanis (dengan mesin).



Gambar 2.1 Tipe Screen Pembersihan Secara Manual

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)



Gambar 2.2 Tipe Screen dengan Pembersihan Secara Mekanik

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Adapun kriteria perencanaan penyaring kasar adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Coarse Screen

PARAMETER	UNIT	MANUAL	MEKANIS
Ukuran Batang			
Lebar	mm	5,0-15	5,0-15
Kedalaman	mm	25-38	25-38
Jarak antar batang	mm	25-50	15-75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30-45	0-30
Aliran saat melalui bar screen			
Kecepatan	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Headloss (Hf)	mm	150	150-600
Koef saat non clogging (c)		0,7	0,7
Koef saat clogging (Cc)		0,6	0,6

(Sumber: Metcalf And Eddy WWET, And Reuse 4th Edition, Halaman 316 & 321)

2.3.3 Bak Ekualisasi

Bak Ekualisasi merupakan unit yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pengolahan air buangan yang terjadi akibat adanya fluktuasi konsentrasi beban pencemar. Bak Ekualisasi secara sederhana dapat diartikan sebagai bak yang digunakan untuk menstabilkan aliran air sehingga menghasilkan aliran yang relatif konstan tiap waktunya (Metcalf & Eddy, 2003). Adapun beberapa keuntungan dalam penggunaan unit ini adalah:

- a. Efektifitas pengolahan biologis dapat meningkat akibat shock loading yang dapat diabaikan atau diminimalisir. Adapun juga kehadiran senyawa-senyawa yang dapat menghambat kerja mikroorganisme dalam proses biologis dapat dilemahkan pada bak ekualisasi. serta tingkat keasaman (pH) dapat distabilkan.
- b. Kualitas effluent dan kemampuan pemadatan sludge pada pengolahan sekunder (Pengolahan biologis) akan meningkat karena adanya peningkatan konsistensi solid loading
- c. Kebutuhan luas permukaan media filtrasi dapat dikurangi, kemampuan penyaringan meningkat dan keseragaman perputaran aliran backwash dapat dikondisikan lebih rendah dari hydraulic loading.
- d. Pada proses pengolahan secara kimiawi, kestabilan parameter pencemar dapat meningkatkan pengaturan proses pembubuhan senyawa kimia dan efektifitas pengolahan.

Sedangkan kerugian penggunaan bak ekualisasi dalam proses pengolahan airbuangan yaitu :

- a. Membutuhkan lahan yang relatif lebih luas.
- b. Bak ekualisasi perlu dilengkapi dengan unit bangunan pengatur bau apabila dibangun di area pemukiman.
- c. Proses operasi dan perawatan tambahan tentu akan sangat dibutuhkan.
- d. Modal pembangunan meningkat.

Kriteria Perencanaan :

- waktu detensi (td) = <2 jam
- (Sumber: Reynolds, Tom D., Paul A. Richards. 1996)
- freeboard (fb) = 5 – 30 %
 - kecepatan aliran (v) = 0,3 – 0,6 m/s
 - kedalaman bak (H) = 1,5 – 2 m

(Sumber: Chow, Ven Te. 1959.)

- kecepatan aliran outlet (v) = 0,3 – 2,5 m/s
- koefisien kekasaran pipa (K)
 - 1) elbow 90° = 1,1
 - 2) Check valve = 2,5
 - 3) Increaser = 0,5

(Sumber: Kawamura, S. 2000)

Fungsi pompa adalah sebagai alat pemindahan fluida melalui saluran terbuka/tertutup di dasarnya dengan adanya peningkatan energi mekanika fluida. Tambahan energi ini akan meningkatkan kecepatan dan tekanan fluida.

Tabel 2.4 Klasifikasi Pompa

Klasifikasi Utama	Tipe pompa	Kegunaan pompa
Kinetik	Centrifugal	<ul style="list-style-type: none"> • Air limbah sebelum diolah • Penggunaan lumpur kedua • Pembuangan effl
	Peripheral	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah logam, pasir lumpur, air limbah kasar
	Rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Minyak, pembuangan gas permasalahan zat-zat kimia pengaliran lambat untuk air dan air buangan
Posite Displacement	Screw	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, pengolahan lumpur 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
	Air Lift	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, sirkulasi dan pembuangan lumpur kedua

	Pneumatic Ejector	• Instalasi pengolahan limbah skala kecil
--	-------------------	---

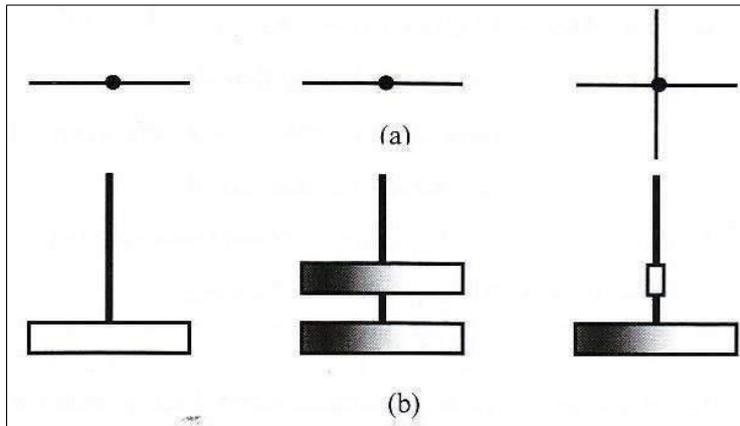
(Sumber: Metcalf and Eddy, 2003)

2.3.4 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu cara pengolahan air limbah secara kimia. Proses ini memudahkan partikel-partikel tersuspensi yang tidak dapat mengendap secara gravitasi dan menjadikan partikel koloid di dalam air menjadi partikel yang lebih besar, kemudian akan dilanjutkan dengan proses sedimentasi atau pengendapan. Menurut Rath dan Singh (1997), koagulasi dan flokulasi merupakan proses yang terjadi secara berurutan untuk membuat partikel tersuspensi menjadi tidak stabil dengan menyebabkan terjadinya tumbukan partikel dan menjadi flok (Simbolon, 2020).

Koagulasi merupakan proses campuran koloid terdistabilkan dengan adanya penambahan zat kimia atau koagulan, yang dilakukan dengan pengadukan cepat, sehingga dihasilkan partikel bermuatan positif dan negatif. Dalam koagulasi akan terjadi proses netralisasi dari muatan partikel dengan penambahan koagulan dan agregat, yang terbentuk dari proses koagulasi sehingga akan saling menempel. Hal ini menyebabkan terbentuknya partikel yang lebih besar, yang disebut flok. Flok terbentuk akibat hubungan antara partikel bermuatan positif dengan partikel bermuatan negatif. Flokulasi merupakan proses penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar, akibat dari tumbukan yang dilakukan dengan cara pengadukan lambat (Suprihatin, dkk. 2013).

Menurut Said (2017), Partikel koloid yang terbentuk dari penambahan senyawa kimia yang disebut koagulan, memiliki ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil ini penggumpalan partikel tidak terjadi dan gerakan brown menyebabkan partikel tetap berada sebagai suspensi. akibat proses destabilisasi, partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi besar. sehingga partikel yang awalnya sukar terpisah dari air, menjadi lebih mudah terpisah dengan pembentukan koloid. Dalam prosesnya koagulasi menggunakan motor impeller atau agitator untuk membantu prese destabilisasi partikel. Terdapat berbagai macam tipe pengaduk impeller yang beredar di pasaran. Berdasarkan bentuknya terdapat tiga macam alat pengaduk, yaitu paddle (pedal), turbine, dan propeller (baling-baling).



Gambar 2.3 Tipe Paddle (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping
 (Sumber : Masduqi & Assomadi, 2012 hal 112)



Gambar 2.4 Tipe Turbin & Tipe Propeller (a) 2 Blade (b) 3 blade
 (Sumber: Qasim, et al., 2000)

Tabel 2.5 Beberapa Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

Nama	Formula	Bentuk	Reaksi dengan air	pH optimum
Aluminiu Sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ $x = 14, 16, 18$	Bongkahan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Sodium lumat	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	bubuk	Basa	6,0 – 7,8
Polyaluminim Chloride, PAC	$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{13n-m}$	Cairan, bubuk	Asam	6,0 – 7,8
Ferri Sulfat	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	4 – 9
Ferri Klorida	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Bongkahan, cairan	Asam	4 – 9
Ferro Sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kristal halus	Asam	>8,5

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi koagulan, yaitu pengaruh pH, temperatur, dosis koagulan, dan pengadukan (mixing). Sedangkan Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan yaitu G dan td. Sedangkan untuk menghitung besarnya tenaga (power) yang dibutuhkan, perlu memperhatikan jenis impeller yang digunakan dan nilai konstanta KT.

Kriteria Desain

- Koagulasi
 - $t_d = 20 - 60$ detik
 - $G = 300 - 1000$ detik⁻¹

(EPA, 1987, Phosphorus Removal)

- Kecepatan Pengadukan = 10 – 150 rpm
- NRE Aliran Turbulen > 10000
- Lebar Paddle = 1/6 - 1/10 diameter
- Diameter Paddle = 50% - 80%

(Sumber: Reynolds, Tom D. & Paul A. Richards, 1996)

- Flokulasi

- $t_d = 15$ menit

- $G = 50 - 80$ detik⁻¹

(EPA, 1987, Phosphorus Removal)

- Kecepatan pada channel (v_c) : 0,1-0,4 m/s

- Kecepatan pada bak (v) : 0,0025 – 0,0075 m/s

- Kedalaman (h) : > 1 m

(Sumber: Droste hal.400 & Kawamura.2000. hal. 121, 200)

- Koef. Kekasaran dinding (f) : 0,3

Tabel 2.6 Konstanta K_T impeller

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

(Sumber: Reynolds & Richard, 1996:188)

Rumus:

a. Kebutuhan alum yang digunakan per-hari

$$\text{Kebutuhan alum} = \text{dosis alum} \times Q$$

Keterangan:

Kebutuhan alum → kg/hari

Dosis alum → mg/liter

Q = debit (m³/detik)

b. Debit alum

$$Q_{alum} = \frac{\text{Kebutuhan alum}}{\rho_{alum}}$$

Keterangan:

Q alum= debit alum (m³/hari)

ρ_{alum} = densitas alum (gr/cm³)

Kebutuhan alum → kg/hari

c. Debit air pelarut

$$\text{debit air pelarut} = \frac{100\%}{80\%} \times Q_{alum}$$

Keterangan

Q alum= debit alum (m³/hari)

Debit air pelarut → m³/hari

d. Debit total

$$Q_{total} = Q_{alum} + \text{debit air pelarut}$$

Keterangan:

Q total= debit total (m³/hari)

Q alum= debit alum (m³/hari)

Debit air pelarut → m³/hari

e. Volume total

$$\text{vol total} = Q_{total} \times \text{periode pembubuhan}$$

Keterangan:

Vol total = volume total (m³)

Q total = debit total (m³/hari)

Periode pembubuhan → hari

f. Dimensi bak

$$vol\ total = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times H$$

$$H\ total = H + H_{freeboard}$$

Keterangan:

Vol total = volume total (m³)

d = diameter (m)

H = tinggi (m)

g. Tenaga atau power yang dibutuhkan

$$G = [P/V\mu]^{1/2}$$

Keterangan:

G = gradien kecepatan

P = tenaga atau power yang dibutuhkan (watt)

μ = viskositas air (N.detik/m²)

V = volume bak (m³)

h. Diameter impeller

$$Di = \left(\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho} \right)^{1/5}$$

$$Perbandingan = \frac{Di}{d} \times 100\%$$

Keterangan:

Di = diameter impeller (m)

P = power yang dibutuhkan (watt)

n = banyaknya paddle

ρ = densitas air (g/m³)

i. Lebar impeller

$$L_i = 0,167 \times D_i$$

D_i = diameter impeller (m)

j. Jarak impeller dari dasar

$$\text{Jarak} = 50\% \times D_i$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller (m)

k. Cek bilangan reynold (N_{re})

$$N_{re} = \frac{(D_i)^2 \times n \times \rho}{\mu}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller (m)

n = Banyaknya paddle

ρ = densitas air (g/m^3)

μ = viskositas air ($\text{N}\cdot\text{detik}/\text{m}^2$)

l. Cek N_{fr}

$$N_{Fr} = \frac{n^2 \times D_i}{g}$$

Keterangan:

D_i = diameter impeller (m)

n = Banyaknya paddle

g = gravitasi (m/detik^2)

m. Dossing pump

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

Keterangan:

v = Kecepatan (m/detik)

Q = debit (m^3/detik)

$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)}$

2.3.5 Bak Pengendap (Sedimentasi)

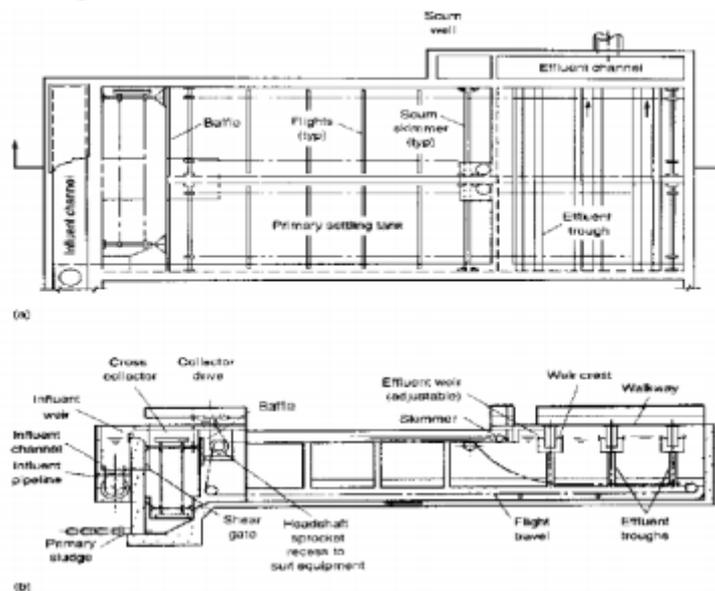
Bak pengendap/sedimentasi adalah bak yang digunakan untuk proses pengendapan partikel flokulen dalam suspensi, dengan pengendapan yang terjadi akibat interaksi antar partikel. Selama operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatannya juga meningkat. Sebagai contoh ialah pengendapan koagulasi-flokulasi (Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012).

Bak pengendap pertama pada umumnya mampu menyisahkan 50-70% dari suspended solid tanpa antuan bahan kimia, 80-90% penyisihan TSS dengan bantuan bahan kimia dan 50-80% BOD. Adapun efisiensi kemampuan penyisihan TSS dan BOD pada bak sedimentasi dipengaruhi oleh:

1. Aliran angin.
2. Suhu udara permukaan.
3. Dingin atau hangatnya air yang menyebabkan perubahan kekentalan air.
4. Suhu terstratifikasi dari iklim.
5. Bilangan eddy

Desain bak pengendap 1 ada beberapa jenis yaitu:

1. Rectangular



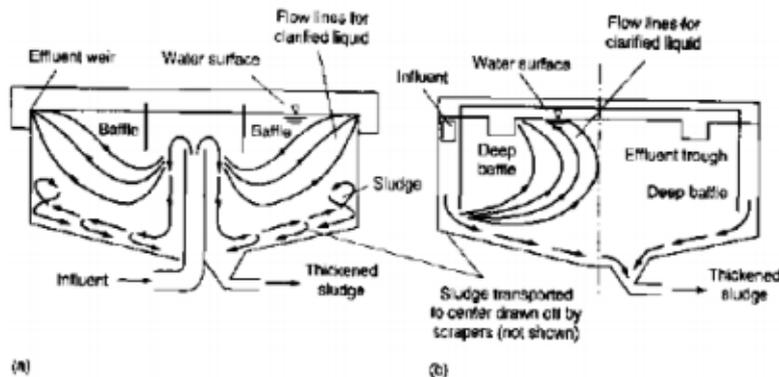
Gambar 2.5 Denah dan potongan sedimentasi rectangular

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Karena distribusi aliran pada bak persegi ini sangat kritis, salah satu inlet didesain untuk (Metcalf & Eddy, 2003):

- a. Lebar saluran inlet dengan inlet limpahan,
- b. Saluran inlet dengan port dan orifice,
- c. Saluran inlet dengan lebar bukaan dan slotted baffles

2. Circular



Gambar 2. 12 Potongan Bak Pengendap Circular

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003.

Pada tangki circular pola aliran adalah berbentuk aliran radial. Pada tengah-tengah tangki, air limbah masuk dari sebuah sumur sirkular yang didesain untuk mendistribusikan aliran ke semua bangunan ini. Diameter dari tengah-tengah sumur biasanya antara 15-20% dari diameter total tangki dan range dari 1-2,5 meter dan harus mempunyai energi tangensial (Metcalf & Eddy, 2003).

Kriteria - kriteria yang diperlukan untuk menentukan ukuran bak sedimentasi adalah: Surface Loading (beban permukaan), kedalaman bak, dan waktu tinggal. Nilai waktu tinggal merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi bak dengan kecepatan seragam yang sama dengan aliran rata-rata per hari (Metcalf & Eddy, 2003)

2.3.6 Desinfeksi UV

Karakteristik dari cahaya ultraviolet memberikan dampak pada kerusakan kulit dan mampu membunuh mikroorganisme di dalam sehingga perkembangannya terlambat. Cahaya UV ini ditemukan sejak tahun 1677, dan pertama kali dimanfaatkan oleh Niels Ryberg Finsen seorang peneliti Denmark untuk membunuh organisme patogen. Selain itu UV lamp merupakan lampu gelombang ultraviolet yang memancarkan gelombang cahaya yang mempunyai panjang gelombang paling pendek dari cahaya tampak yaitu antara 100-390 nm.

Sinar yang bersifat membunuh mikroorganisme (germisida) dari lampu kabut merkuri dipancarkan secara eksklusif pada panjang gelombang 2537 satuan Amstrong (253,7 milimikron). Ketika sinar UV melewati bahan, energi dibebaskan ke orbital elektron dalam atom konstituen. Energi yang terserap ini menyebabkan meningginya keadaan energi atom-atom dan mengubah reaktifitasnya (Chamim, A.N.N. & Iswanto, 2011).

Klasifikasi sinar UV :

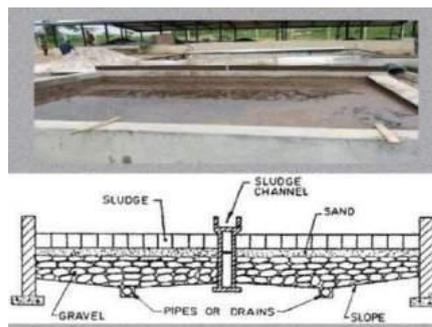
1. UV type C = 100 – 280 nm
2. UV type B = 280 – 315 nm
3. UV type A = 315 – 390 nm

2.3.7 Pengolahan Lumpur

Sludge atau lumpur merupakan hasil samping yang dihasilkan dalam pengolahan air. perlu diadakan pengolahan secara khusus agar lumpur tersebut tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan kehidupan.

A. Sludge Drying Bed

Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur hasil pengolahan dari thickener. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir dan kerikil serta pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan paling cepat 10 hari dengan bantuan sinar matahari.



Gambar 2.7 Sludge drying bed

Sludge drying bed merupakan metode pemisah air dari sludge yang dihasilkan bangunan pengolah air limbah yang paling sering digunakan di Amerika Serikat. Sludge drying bed secara umum digunakan untuk mengurangi kadar air kandungan biosolid dan lumpur/sludge yang mengendap. Setelah mengering, padatan akan dikuras

dan selanjutnya dibuang menuju lokasi pembuangan (landfill) (Metcalf & Eddy, 2003).

Keuntungan penggunaan sludge drying bed diantaranya adalah:

1. Rendahnya biaya investasi dan perawatan yang diperlukan
2. Tidak diperlukannya terlalu banyak waktu untuk proses pengamatan dan pengontrolan
3. Dalam prosesnya akan dihasilkan banyak padatan dari proses Pengeringan

Selain berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dengan penggunaan sludge drying bed seperti yang telah disebutkan di atas, sludge drying bed juga memiliki beberapa kerugian, diantaranya:

1. Proses pengeringan sangat bergantung pada iklim dan perubahannya
2. Dibutuhkan lahan yang lebih luas
3. Kemungkinan terjadinya pencemaran udara yang berupa bau akibat proses pengeringan sludge / lumpur

Dalam prosesnya, sludge drying bed dibedakan menjadi lima (5) jenis, di antaranya:

1. Conventional Sand Sludge Drying Bed
2. Paved Sludge Drying Bed
3. Artificial Media Sludge Drying Bed
4. Vacuum Assisted Sludge Drying Bed
5. Solar Sludge Drying Bed

2.3 Persen Removal

Tabel 2.7 Persen Removal

Unit	Beban Pencemaran	Range Kemampuan Penyisihan	Sumber
Koagulasi – flokulasi & sedimentasi	PO ₄	70 – 90 %	(EPA,1987) pada Halaman 59
	TSS	80-90 %	(Metcalf & Eddy, 2000) pada Halaman 497
	Coliform	60-100 %	(Droste, 1997) pada halaman 224
	BOD	82,4 %	(Eckenfelder, 2000) pada Halalaman 137
	COD	82,5 %	

Desinfeksi UV	Coliform	~99%	(Oliver & Carey, 1976) pada halaman 2619-2624
------------------	----------	------	--

2.4 Profil Hidrolis

Dalam membuat profil hidrolis perlu diperhitungkan kehilangan tekanan pada bangunan dan kehilangan tekanan pada perpipaan serta aksesoris. Kehilangan tekanan akan mempengaruhi ketinggian muka air di dalam bangunan pengolahan. Kehilangan tekanan pada bangunan pengolahan ada beberapa macam, yaitu:

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

Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris kehilangan tekanan pada saluran terbuka berbeda dengan cara menghitung saluran tertutup. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris ada beberapa macam, yaitu:

- a. Kehilangan tekanan pada perpipaan dan aksesoris
- b. Kehilangan tekanan pada perpipaan
- c. Kehilangan tekanan pada aksesoris
- d. Kehilangan tekanan pada pompa

Kehilangan tekanan bangunan baik dalam saluran terbuka maupun tertutup serta tinggi terjunan dapat mempengaruhi perhitungan tinggi muka air. Perhitungan dapat dilakukan dengan:

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