

## BAB III

### KRITERIA DESAIN

#### 3.1 Pengolahan Limbah Cair

Pelaksanaan penanganan limbah cair rumah sakit perlu sekali memperhatikan dan mengacu pada konsep teknologi bersih, yaitu telaah tentang teknologi pengolahan meminimalkan pencemaran yang dapat menurunkan dampak negatif terhadap komponen lingkungan, termasuk di dalamnya menanggulangi dan mencegah terjadinya pencemaran fisik, kimia, biologi, dan sosekbud ( Tjokrokusumo, 1995).

Parameter utama dari limbah cair yang dihasilkan dari rumah sakit adalah bahan kimia terlarut dan koloid yang akan terurai dengan sistem pengolahan biologis. Cara praktis pengolahan limbah cair yang telah dilakukan oleh rumah sakit RSUD Dr. Moewardi yaitu sebagai rumah sakit Pemda Tingkat I Jateng dan ditetapkan sebagai rumah sakit kelas B adalah penggunaan bak floatasi yang diikuti dengan satu atau kombinasi dari sistem-sistem berikut:

1. Bak *sedimentasi*
2. Bak *equalisasi*
3. Pipa *Aerasi* yang digunakan untuk mensuplay oksigen di bak *equalisasi* dan *biodetox*<sup>®</sup>.
4. Bak *biodetox*<sup>®</sup> dengan sistem daur ulang
5. Kolam stabilitas yang merupakan kolam uji biologi dan dapat sebagai kolam *indikator*

6. Tempat pembuangan akhir atau saluran drainase yang berhubungan ke badan air.

Sedangkan pada Rumah Sakit Datu Sanggul Kab. Tapin Kalimantan Selatan yang termasuk golongan B dan Rumah Sakit Purwerojo termasuk dalam golongan kelas C, kedua Rumah Sakit tersebut pengolahan air limbahnya menggunakan unit pengolahan biologis yaitu dengan sistem Lumpur Aktif. Dan mengingat bahwa air limbah rumah sakit merupakan limbah yang bersifat infeksius, yaitu mengandung kuman atau bibit penyakit maka setelah pengolahan secara biologi ini dilanjutkan dengan pengolahan secara kimia, yang bertujuan untuk desinfeksi. Kedua Rumah Sakit tersebut mengambil alternatif sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*) berdasarkan bahan pencemar utama yang terkandung dalam air limbah yang dihasilkan yaitu Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) dan Suspended Solid (SS).

Menurut Ditjen PPM dan PLP (1988), pemakaian air bersih di Rumah Sakit bukannya hanya pasien saja, melainkan seluruh manusia yang berada di Rumah Sakit mulai dari karyawan, pengunjung pasien, pengantar, penunggu pasien dan peralatan Rumah Sakit yang membutuhkan pembersihan dengan air. Oleh karena itu jumlah kebutuhan air ditetapkan berdasarkan kapasitas pasien (tempat tidur) dalam suatu Rumah Sakit. Hal ini dipakai untuk kepentingan di dalam perencanaan dan pengembangan Rumah Sakit. Atas dasar pertimbangan tersebut maka kebutuhan air bersih pertempat tidur perhari jumlahnya lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan seseorang dalam suatu Rumah sakit. Besar

kebutuhan air bersih pertempat tidur perhari cukup bila tersedia 150-250 gallon atau sekitar 500-900 liter pertempat tidur perhari.

Sedangkan pemakaian air rata-rata per orang setiap hari menurut Soufyan Moh. Noerbambang (2000) adalah untuk Rumah Sakit Umum sebesar 350-500 liter setiap tempat tidur pasien, pasien luar sebesar 8 liter, staf/pegawai sebesar 120 liter dan keluarga pasien sebesar 160 liter. Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari adalah 8-10 jam.

### **3.1.1 Limbah Cair Rumah Sakit**

Limbah cair rumah sakit adalah semua limbah cair yang berasal dari rumah sakit yang kemungkinan mengandung mikroorganisme patogen, bahan kimia beracun dan radioaktif. Ukuran fungsi dan kegiatan rumah sakit mempengaruhi kondisi limbah cair yang dihasilkan. Secara umum limbah cair rumah sakit mengandung air buangan dari pasien, limbah laboratorium, limbah laundry, dan berbagai macam bahan kimia baik toksik maupun non toksik.

Limbah cair rumah sakit volumenya relatif kecil bila dibandingkan dengan sumber limbah yang lainnya seperti industri, tetapi mempunyai resiko pencemaran yang membahayakan karena kegiatan yang ada di rumah sakit cukup kompleks. Rumah sakit dapat bertindak sebagai sumber distribusi penyakit-penyakit, karena rumah sakit selalu dihuni, digunakan dan dikunjungi oleh orang-orang yang rentan dan rawan terhadap penyakit (Anonim, 1994).

Sumber limbah cair rumah sakit bervariasi sesuai dengan jenis dan klasifikasinya. Rumah sakit di Indonesia dibagi beberapa kelas yaitu kelas A, B, C

dan D. Rumah sakit kelas D adalah rumah sakit yang memiliki 25 sampai 100 tempat tidur, kelas C memiliki 100 sampai 500 tempat tidur, kelas B memiliki 500 sampai 1000 tempat tidur dan rumah sakit kelas A memiliki lebih dari 1000 tempat tidur ( Anonim, 1989).

Limbah cair rumah sakit terdiri dari limbah cair tidak beracun (non toksik) dan limbah cair beracun (toksik), limbah cair tidak beracun (non toksik) terdiri dari :

1. Air kotoran yaitu limbah cair yang mengandung kotoran manusia seperti tinja dan air kemih yang berasal dari kloset dan peturasan.
2. Air bekas yaitu limbah cair yang mengandung kotoran manusia yang berasal dari bak cuci tangan (lavatory), ruang cuci alat-alat masak dan ruang perawatan.

Limbah cair beracun (toksik) yaitu limbah cair yang mengandung zat racun/toksik, seperti bahan-bahan kimia organik, deterjen dan zat radioaktif. Zat-zat tersebut merupakan racun bagi mikroorganismenya itu sendiri. Limbah cair ini berasal dari laboratorium, apotek, laundry, bengkel, dan radiologi (Anonim, 1993).

Tabel 3.1. Klasifikasi Limbah Cair

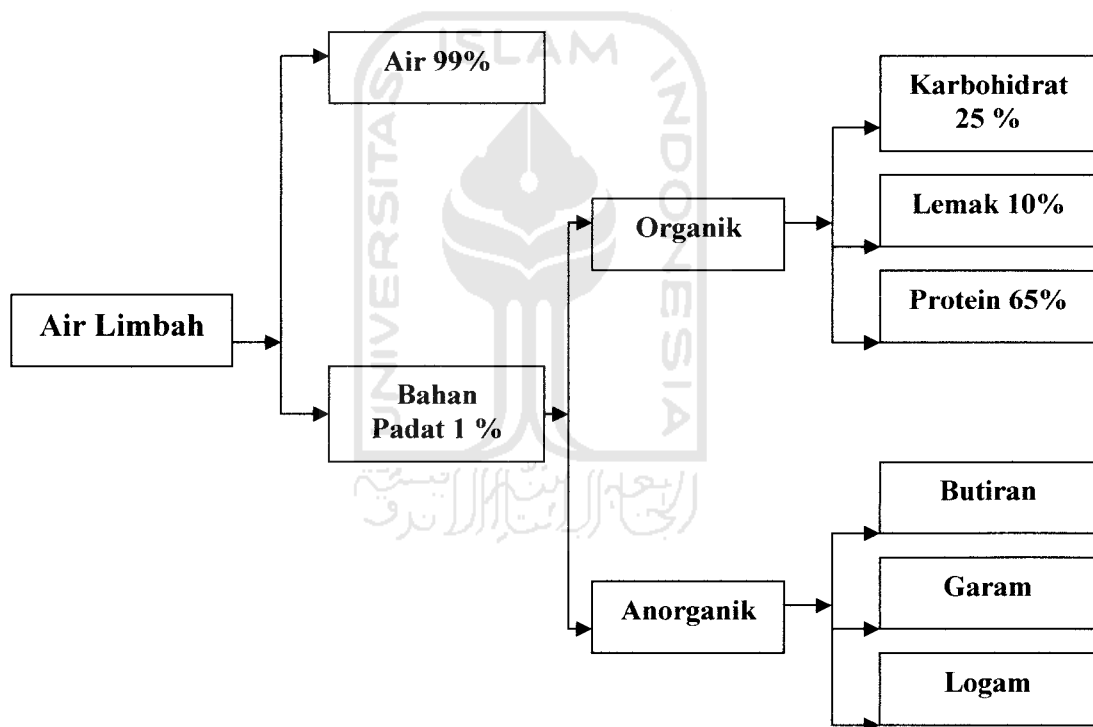
no	Ruang	Sumber limbah	karakteristik fisik	Domestik	Medik
1	Ruang Perawatan	Kamar mandi, wastafel, urinoir, tempat cuci instrumen medis, buangan	Berwarna kuning kecoklatan,berbau amoniak,suhu hangat	Kamar mandi, wastafel, urinoir	tempat cuci instrumen medis, buangan
2	Ruang Rawat Jalan	Kamar mandi, wastafel, tempat cuci intrumen medik	berwarna merah muda/tua,berbau	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci intrumen medik
3	Ruang gawat Darurat	Kamar mandi, wastafel, tempat cuci intrumen medik	berwarna kemerahan,berbau amis,bersuhu hangat	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci intrumen medik
4	Ruang Operasi	Kamar mandi, wastafel, tempat cuci intrumen medik	berwarna merah kecoklatan,berbau anyir,bersuhu hangat	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci intrumen medik
5	Laboratorium	Kamar mandi, wastafel, tempat cuci preparat	berwarna keruh,	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci preparat
6	Ruang Unit Radiologi	Kamar mandi, wastafel, tempat cuci film	berwarna keruh,berbau	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci film
7	Ruang <i>Heamodialisa</i>	Kamar mandi, wastafel, tempat pembuangan cairan dialist	berwarna keruh	Kamar mandi, wastafel	tempat pembuangan cairan dialist
8	Ruang Laundry	Tempat rendaman linen kotor, Buangan air pembilas	berwarna kemerahan , berbau amis	Kamar mandi, wastafel	Tempat rendaman linen kotor, Buangan air pembilas
9	Ruang Dapur	Kamar mandi, tempat cuci bahan mentah, tempat cuci alat dapur	berwarna keruh,berbau amis,bersuhu hangat/panas	Kamar mandi, tempat cuci bahan mentah, tempat cuci alat dapur	
10	Ruang Jenazah	Kamar mandi, wastafel, Tempat cuci jenazah	berbau sabun/detergen	Kamar mandi, wastafel	Tempat cuci jenazah
11	Unit perkantoran	Kamar mandi, Wastafel, urinoir	biasa	Kamar mandi, Wastafel, urinoir	
12	Fasilitas sosial atau kantin	kamar mandi, wastafel, tempat cuci perabotan makanan	berwarna keruh berbau amis	Kamar mandi, wastafel	tempat cuci perabotan makanan

Sumber : RSUD Dr. Moewardi Solo

### 3.1.2 Komposisi Limbah Cair Rumah Sakit

Komposisi limbah cair rumah sakit sebagian besar terdiri dari air sebesar 99% dan sisanya terdiri dari partikel terlarut dan tidak terlarut sebesar 1%.

Partikel padat terdiri dari zat organik 70% dan zat anorganik 30%. Zat organik terdiri dari 65% protein, 25% karbohidrat dan 10% lemak. Zat organik tersebut sebagian besar mudah terurai (degradable) yang merupakan sumber makanan dan media yang baik bagi pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme lain. Sedang zat organik yang terdiri atas grit, salts dan metal merupakan bahan pencemar yang penting. Padatan baik yang tersuspensi maupun yang terlarut sangat cocok untuk menempel dan bersembunyi mikroorganisme baik saprofit maupun pathogen (Anonim, 1993).



Gambar 3.1. Komposisi dan Komponen Limbah

Berdasarkan jenis kegiatan rumah sakit, hal-hal yang spesifik menentukan karakteristik limbah cair rumah sakit baik fisik, kimia dan biologi adalah :

- a. Limbah cair yang berasal dari laundry mengandung deterjen, suhu relatif tinggi, bakteri pathogen dan non pathogen.

- b. Limbah cair yang berasal dari kitchen/dapur, kandungan lemak dan zat organik cukup tinggi.
- c. Limbah cair yang berasal dari ruang perawatan bersifat infeksius.
- d. Limbah cair yang berasal dari ruang kemodialisa COD cukup tinggi.
- e. Limbah cair yang berasal dari ruang operasi mengandung phenol dan Hg yang tinggi (Anonim, 1993).

### **3.1.3 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit**

Karakteristik limbah cair rumah sakit adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik fisik

Karakteristik fisik yang utama dari limbah cair rumah sakit adalah adanya kandungan bahan padat, berwarna, berbau, suhu relatif lebih tinggi daripada air normal, memiliki konsistensi lebih kental serta mempunyai berat jenis lebih besar daripada air normal (Kusumanta, 1992). Bahan padat yang terdapat dalam limbah cair terdiri dari padat terlarut dan bahan padat tersuspensi yang keduanya sering disebut zat padat jumlah. Bahan padat inilah yang akhirnya menentukan konsentrasi serta berat jenis limbah cair. Pengendapan zat padat tersuspensi di dasar badan air akan mengganggu kehidupan di dalam badan air tersebut. Endapan solid di dasar badan air akan mengalami dekomposisi yang menyebabkan turunnya kadar oksigen terlarut dan akan menimbulkan bau busuk serta pemandangan yang tidak sedap (Djajadiningrat, 1992).

Warna merupakan ciri kualitatif dari air limbah yang pada awalnya berwarna coklat muda dan akhirnya berwarna hitam tua. Warna keruh pada limbah cair rumah sakit berasal dari pembersihan larutan dan alat. Bau merupakan ciri spesifik dari limbah cair. Timbulkan bau karena terjadi proses dekomposisi bahan-bahan organik oleh bakteri dekomposer dan terbentuk gas-gas tertentu seperti NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan beberapa jenis gas lainnya. Suhu air limbah relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air normal. Suhu ini dapat mempengaruhi aktifitas mikrobial. Solubilitas dari gas, viskositas dan suhu juga penting pada operasi proses biologis (Djajadiningrat, 1992).

b. Karakteristik kimia

Sebagai ukuran penilaian sifat kimia limbah cair dipakai beberapa parameter penting seperti SS, BOD, COD, TOD, N Total, P Total dan Lemak (tabel 3.2.) (Djajadiningrat, 1992) :

1. Zat padat tersuspensi (SS)

Zat padat tersuspensi atau Suspended Solid (SS) adalah sejumlah berat dalam miligram penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron, dimana filter membran tersebut mengandung bahan tersuspensi yang dikeringkan pada suhu 105° C selama 2 jam. Padatan tersuspensi sangat mempengaruhi kekeruhan dan kecerahan air, hal ini mempengaruhi proses fotosintesis dan pembusukan sehingga mempengaruhi nilai guna perairan. Padatan tersuspensi dalam air mengandung partikel organik dan anorganik. Suspended Solid



dihasilkan oleh tanah liat, silt, tanah (anorganik) dan padatan biologis seperti algae, bakteri, serat-serat tanaman (organik) (Sumestri, 1987).

## 2. BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri, dan untuk mendesain sistem-sistem pengolahan biologis bagi yang tercemar tersebut. Besar kecilnya nilai BOD dipengaruhi oleh kadar zat organik, adanya mikroorganisme, adanya zat yang bersifat racun dan adanya proses nitrifikasi. Makin besar kadar zat organik makin besar pula nilai BOD (Alarets, dan Sumestri, 1987; Sugiharto; 1987). Umumnya untuk mengetahui besarnya tingkat pencemaran yang ada dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan pengukuran BOD<sub>5</sub> yaitu banyaknya oksigen yang digunakan oleh mikrobia untuk mengoksidasi bahan organik pada suhu 20° C selama 5 hari (Sumestri, 1987).

## 3. COD (Chemical Oxygen Demand)

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses biologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alarets, dan Sumestri, 1987). Pada reaksi oksidasi ini hampir semua zat organik dapat dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dalam suasana asam dengan menggunakan bikromat atau permanganat sebagai sumber oksigennya (Sumestri, 1987).

Tabel 3.2. Karakteristik kimia air limbah domestik

Parameter (mg/l)	Karakteristik		
	Kuat	Medium	Lemah
Total zat padat (TSS)	1200	720	350
- zat padat terlarut (DS)	850	500	250
- zat padat tersuspensi (SS)	350	220	100
BOD <sub>5</sub>	400	220	110
TOC	2900	160	80
COD	1000	500	250
N Total	85	40	20
P Total	15	8	4
Cl <sup>-</sup>	100	50	30
Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Lemak	150	100	50

Sumber: Djajadiningrat, 1992.

c. Karakteristik biologi

Secara biologis karakteristik air limbah rumah sakit ini ditunjukkan dengan adanya berbagai macam mikroorganisme air seperti jamur, ganggang, virus dan berbagai macam bakteri pathogen dan apathogen (Kusumanta, 1992).

d. Karakteristik radioaktif

Keberadaan unsur radioaktif dalam air limbah rumah sakit biasanya berbentuk partikel dan cairan. Bahkan radioaktif tersebut dimungkinkan berasal dari ruang rontgen atau ruang lain yang memakai peralatan medis dengan komponen radioaktif (Kusumanta, 1992).

Tabel 3.3. Organisme patogen yang biasa terdapat dalam air limbah

Organisme	Penyakit	Keterangan
Ascaris spp. Enterogius spp.	Cacing nematoda	Berbahaya terhadap manusia dari buangan air limbah dan lumpur kering yang dipakai sebagai pupuk.
Bacillus anthracis	Anthrax	Terdapat dalam air limbah Sporanya tahan terhadap pengolahan
Brucella spp	Brucellosis, demam pada manusia menjangkitkan keguguran pada domba/kambing dan ternak lain	Biasanya ditularkan oleh susu yang kena infeksi atau oleh kontak. Air limbah juga diduga sebagai penular.
Entamoeba histolyca	Disentri	Disebabkan oleh air yang terkontaminasi serta lumpur yang dipakai sebagai pupuk. Biasanya pada cuaca yang panas.
Leptospira iceterohaenorrhagi	Leptospirosis (penyakit meli)	Dibawa oleh tikus-tikus selokan
Mycobacterius	Tuberculosis	Terpisahkan dari air limbah dan sungai yang tercemar. Air limbah merupakan kemungkinan cara penyebaran. Perhatian harus diberikan pada air limbah dan lumpur yang keluar dari sanatorium.
Salmonella paratyphi	Demam paratyphi	Biasanya ada dalam air limbah dan buangnya pada masa epidemik.
Salmonella spp	Peracunan makanan	
Schistosoma spp	Schistosomiasis	Mungkin diuraikan pada pengolahan air limbah yang efisien.
Shigella spp.	Disentri basil	Air tercemar merupakan sumber infeksi utama.
Taenia spp.	Cacing pita	Telurnya sangat tahan, terdapat pada lumpur air limbah serta buangan air limbah. Berbahaya bagi ternak atau lahan yang dipupuk dengan lumpur limbah.
Vibrio cholerae	Cholerae	Dijangkitkan oleh air limbah dan air tercemar.
Virus	Poliomyelitis Hepatitis	Cara penularan yang pasti belum diketahui. Terdapat pada buangan dari instalasi pengolahan secara biologis.

Sumber : Linsley and Fronzini, 1991

Air limbah apabila tidak diolah dengan baik dapat menimbulkan gangguan, baik terhadap lingkungan maupun terhadap kehidupan, yaitu :

a. Gangguan terhadap kesehatan

Air limbah sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia, karena air limbah dapat berfungsi sebagai media pembawa/ penularan penyakit

(*Water Borne Disease*) seperti penyakit kolera, radang usus, hepatitis, infeksiosa dan skistosomiasis, juga di dalam air limbah sendiri banyak terdapat bakteri pathogen penyebab penyakit.

b. Gangguan terhadap kehidupan biotik

Banyaknya zat pencemaran yang terdapat dalam air limbah akan mengganggu kehidupan air (*aquatic life*) khususnya kehidupan aerob karena berkurangnya oksigen terlarut dalam air dan menyebabkan menurunnya kualitas badan udara air tersebut.

c. Gangguan terhadap estetika /keindahan

Zat organik yang terdapat dalam air limbah, akan mengalami proses pembusukan sehingga akan timbul bau dan warna yang mengganggu estetika ( Sugiharto, 1987).

### 3.1.4 Klasifikasi Berdasarkan Tingkat Pengolahan

a. Pengolahan Pendahuluan (Pretreatment)

Pengolahan Pendahuluan merupakan sarana untuk pengolahan awal (*pretreatment*) atau penyamaan air limbah sebelum masuk ke sistem pengumpul yang berfungsi untuk mengurangi beban kerja pada unit pengolahan air limbah.

Tujuan pengolahan pendahuluan adalah :

1. Menyaring bahan-bahan padat kasar.
2. Memisahkan minyak/lemak yang mengapung.
3. Menangkap pasir atau benda terendap.
4. Meratakan fluktuasi aliran/konsentrasi.
5. Mengurangi konsentrasi deterjen.

Bentuk-bentuk dari pengolahan pendahuluan (pretreatment) seperti :

1. Bak penangkap lemak/minyak.
2. Bak penangkap pasir
3. Bak equalisasi
4. Bak pendingin
5. Bak adsorpsi deterjen.
6. Saringan kasar (barscreen)
7. Septik tank.

Penempatan / pembuatan unit pretreatment sesuai dengan lokasi sumber limbah cairnya. Pengolahan pendahuluan limbah cair pada dasarnya berlangsung secara fisik memanfaatkan mekanisme kerja seperti penyerapan, gaya gravitasi, perbedaan berat jenis, kecepatan pengaliran dan pengupasan panas (Djajadiningrat, 1992).

b. Pengolahan tingkat pertama (Primary Treatment)

Pengolahan primer bertujuan untuk menurunkan, mengendapkan zat atau partikel diskrit yang terdapat dalam air limbah. Pada umumnya pengolahan primer ini mampu mereduksi 25-40 % BOD dan 50-70 % kadar bakteri. Time detention (td) umumnya 90-150 menit, dimana akan menentukan volume ruang lumpur. Unit pengolahan yang termasuk pengolahan primer ini adalah Bak Pengendap I.

c. Pengolahan sekunder (Secondary Treatment)

Pengolahan sekunder bertujuan untuk memperbaiki kualitas air hasil pengolahan primer. Proses pengolahan yang terjadi adalah proses penurunan kadar zat organik dengan jalan pembentukan flok, baik secara biologis maupun secara kimia dan pemisahan flok yang terjadi. Effisiensi pengolahan sekunder ini mampu mereduksi 80-90 % kadar bakteri. Unit-unit pengolahan sekunder yaitu :

1. Activated Sludge
2. Trickling Filter
3. Aerated Lagoon
4. Stabilization Pond

d. Pengolahan tertier (Tertiary Treatment)

Pengolahan tertier dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas air yang tidak dapat dilakukan oleh pengolahan primer maupun pengolahan sekunder. Pengolahan ini juga dimaksudkan untuk menghilangkan zat-zat kimia terlarut yang bersifat nutrien seperti nitrogen dan phospor.

e. Pengolahan lumpur (Sludge Treatment)

Instalasi pengolahan air buangan ini dilengkapi pula dengan unit pengolahan lumpur. Unit ini diperlukan karena setiap zat padat dalam suspensi dan sebagian zat organik yang larut dalam air dan sampah pada air limbah dianggap sebagian lumpur endapan.

Tujuan pengolahan lumpur adalah :

1. Mengontrol proses-proses pembusukan agar tidak membahayakan dan menimbulkan gangguan.
2. Memanfaatkan lumpur sebagian sumber energi.
3. Mereduksi volume lumpur dan menstabilkan lumpur hasil endapan.

Unit-unit pengolahan lumpur terdiri dari :

1. Sludge thickener.
2. Sludge digester.
3. Sludge drying bed.

### **3.1.5 Klasifikasi Berdasarkan Sifat / Jenis Pengolahan**

Jenis bangunan pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

#### **a. Pengolahan secara fisik**

Pengolahan secara fisik ini dilakukan yaitu untuk mengurangi sifat fisik air buangan seperti zat padat, baik pasir atau zat padat kasar terapung maupun terlarut, dalam pengolahan ini proses yang dilakukan adalah dengan menggunakan proses fisik atau mekanis. Unit-unit pengolahan fisik berupa :

##### **1. Screening**

Semua air limbah yang akan masuk ke dalam sistem instalasi pengolahan air limbah terlebih dahulu melalui saringan kasar ini, dimana fungsinya adalah untuk menahan benda-benda kasar yang terbawa oleh air limbah supaya tidak mengganggu pengoperasian unit berikutnya. Screen berfungsi untuk menahan benda-benda kasar seperti kayu, sampah,

kotoran dan lain sebagainya. Sehingga tidak merusak pompa, valve dan peralatan mekanis lainnya. Pada umumnya saringan ini terbuat dari besi atau baja yang diletakkan melintang pada saluran pembawa air limbah. Bar rack mempunyai bukaan 5/8 in (15 mm) atau lebih.

Kisi-kisi tersebut dipasang melintang pada saluran sebelum unit pengolahan selanjutnya, membentuk sudut 45<sup>o</sup> terhadap bidang datar saluran. Kisi yang umum dipakai adalah *fixed bar* dan *movable rocks*.

Headloss yang melalui bar racks dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$h_L = \frac{1}{0,7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:  $h_L$  = headloss, ft (m)

0.7 = an empirical discharge coefficient to account for turbulence and eddy losses

V = Velocity of flow through the opening of the bar rack, ft/s (m/s)

v = Approach velocity in up stream channel, ft/s (m/s)

g = Acceleration due to gravity, ft/s<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

persamaan (3.1) berlaku hanya apabila bar rack dalam keadaan bersih.

Headloss bertambah tergantung pada clogging.

Untuk menghitung headloss pada fine screens dapat dilihat dari manufactur rating tables, atau dengan menggunakan rumus :

$$h_L = \frac{1}{C(2g)} \left( \frac{Q}{A} \right)^2 \dots\dots\dots(3.2)$$



dimana  $h_L$  = headloss, ft (m)

$C$  = coefficient of discharge for screen, typically 0.60

$g$  = acceleration due to gravity, ft/s<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = discharge through screen, ft<sup>3</sup>/s (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = effective open area of submerged screen, ft<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>

Hal yang penting untuk menentukan headloss selama operasi tergantung pada ukuran dan jumlah padatan dalam air buangan, ukuran celah (aperture), dan metode dan frekwensi membersihkannya.

Tabel 3.4. Kriteria perencanaan saringan kasar

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kecepatan aliran ( $V_s$ )	m/dt	0.3 - 0.6
2	Sudut peletakan kisi	Derajat	30 - 60
3	Jarak antar kisi ( $b$ )	cm	1.25 - 4.5
4	Lebar kisi ( $w$ )	mm	10
5	Tebal kisi	mm	50

Sumber : Met Calf dan Eddy, 2003.

## 2. Prasedimentasi

Prinsip kerjanya adalah memisahkan padatan tersuspensi serta terlarut di dalam air dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar daripada kecepatan pengendapannya. Efisiensi removal dari partikel diskrit yang memiliki ukuran, bentuk, densitas, serta spesifikasi gravity yang sama tidak dipengaruhi oleh kedalaman melainkan luas permukaan serta waktu detensi dalam bak. Bak pengendap pertama ini dapat menurunkan 50 – 70% kadar TSS dan 25 – 40% kadar BOD (Metcalf and Eddy, 2003). Bak ini terdiri dari 4 ruang, yaitu:

1. *Zona Inlet*

Untuk memperhalus aliran transisi dari *influent* ke zona *settling*.

2. *Zona Settling*

Untuk proses pengendapan partikel diskrit.

3. *Zona Sludge*

Untuk menampung material yang terendapkan.

4. *Zona Outlet*

Untuk memperhalus aliran transisi dari zona *settling* ke *outlet*.

Efek overflow rate pada removal SS mempunyai variasi yang sangat luas tergantung karakteristik air limbah, porsi solid yang mengendap, konsentrasi padatan, serta faktor lainnya. Dalam bak sedimentasi kecepatan horizontal tetap rendah agar partikel yang telah terendapkan tidak tergerus dari dasar bak. Kecepatan horizontal tidak boleh lebih besar dari kecepatan kritis.

Dalam perencanaan bak prasedimentasi, parameter yang digunakan menentukan dimensi bak disamping debit dan waktu tinggal, adalah beban permukaan dan laju limpahan seperti dirumuskan untuk menghitung luas permukaan bak.

Tabel 3.5. Kriteria perencanaan bak prasedimentasi

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Beban permukaan	$m^3/m^2.hri$	24 – 48
2	Laju limpahan	$m^3/m.hri$	16 – 100
3	Td	jam	1 – 4
4	Pemisahan SS	%	50 – 70
5	Pemisahan BOD	%	25 – 40

Sumber : Met Calf dan Eddy, 2003.

### 3. Sedimentation ( Pengendapan )

Sedimentasi adalah pemisahan dari air, dengan penurunan secara gravitasi, atau partikel tersuspensi yang lebih berat dari pada air. Sedimentasi digunakan untuk menghilangkan pasir halus (grit removal), penghilang partikel pada primary settling basin, penghilang biological floc pada activated sludge settling basin, dan menghilangkan flok-flok kimia ketika koagulan kimia digunakan.

#### 3.1 Discrete Particle Settling (type 1)

Analisa dari pengendapan partikel diskrit, *nonflocculating discret* dapat dilakukan dengan menggunakan hukum klasik yaitu Newton dan Stokes. Gravitational force dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Gravitational force} = (\rho_s - \rho) gV \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana  $\rho_s$  = density of particles

$\rho$  = density of fluid

$g$  = acceleration due to gravity

$V$  = Volume of particles

Frictional drag force ditentukan dengan persamaan

$$\text{Frictional drag force} = \frac{C_D A \rho v^2}{2} \dots\dots\dots(3.4)$$

dimana  $C_D$  = drag coefficient

$A$  = cross sectional or projected area of particles at right angles to  $v$

$V$  = particles velocity

Persamaan gravitational force dan frictional drag force untuk partikel yang berbentuk bola menghasilkan hukum Newton

$$V_c = \left[ \frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_D\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana  $V_c$  = terminal velocity of particle

$d$  = diameter of particles

Drag coefficient diambil nilai yang berbeda tergantung pada apakah aliran yang mengelilingi partikel itu laminar atau turbulent.

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan  $N_R = \frac{vd\rho}{\mu} \dots\dots\dots(3.7)$

untuk bilangan Reynold kurang dari 0.3 hukum Stokes menjadi

$$V_c = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \dots\dots\dots(3.8)$$

untuk kondisi laminar hukum Stokes menjadi

$$F_D = 3\pi \times \mu \times v \times d \dots\dots\dots(3.9)$$

Dalam merencanakan kolam sedimentasi, prosedur yang biasa dilakukan adalah memilih partikel dengan terminal velocity  $V_c$  dan untuk merancang kolam semua partikel yang mempunyai terminal velocity sama dengan atau lebih besar dari pada  $V_c$  akan hilang. Kapasitas pada clarified water didapat dengan

$$Q = AV_c \dots\dots\dots(3.10)$$

untuk sedimentasi dengan aliran terus menerus, panjang dari kolam dan waktu dari unit volume air yang berada pada kolam (detention time) harus seperti itu, dan semua partikel dengan desain velocity  $V_c$  akan mengendap. Hubungan antara desain velocity, detention time, dan kedalaman kolam adalah

$$V_c = \frac{\text{depth}}{\text{TimeDetention}} \dots\dots\dots(3.11)$$

dalam kenyataannya, factor perencanaan harus disesuaikan untuk memenuhi adanya akibat dari inlet dan outlet turbulence, short circuiting, sludge storage, dan velocity gradient yang cenderung untuk pengoperasian pada bagian sludge removal.

### 3.2 *Flocculant settling (tipe 2)*

Ketika flokulasi terjadi masa materi akan bertambah dan akan mengakibatkan pengendapan. Besarnya kejadian dari flokulasi tersebut tergantung pada kesempatan untuk berhubungan, yang bervariasi dengan cara kecepatan aliran, kedalaman dari kolam, velocity gradient pada system, konsentrasi partikel, dan perbedaan ukuran partikel. Akibat dari variabel – variabel ini dapat ditentukan dengan sedimentation test.

Untuk menentukan karakter dari partikel flokulan yang mengendap, menggunakan alat pengendap tabung (column). Layaknya tabung bisa terdiri dari berbagai macam diameter tapi tidak sama dengan tinggi dan kedalaman tangki yang dimaksud. Hasil yang

memuaskan dapat dihasilkan dengan 6 in (150 mm) diameter tabung plastic, dan tinggi sekitar 10 ft (3m). sampling dimasukkan pada jarak 2 ft (0.6 m). Larutan yang mengandung bahan tersuspensi harus dimasukkan kedalam column pada saat ukuran terdistribusi secara seragam dari atas ke bawah. Ketelitian harus diberikan untuk meyakinkan bahwa keseragaman temperature mempertahankan test untuk menghilangkan adanya arus konveksi.

Settling ( bak pengendap ) harus diletakan pada keadaan diam. Untuk jarak waktu yang bervariasi, sample dikeluarkan melalui port dan dilakukan analisa untuk suspensi padatan. Untuk menghitung keadaan optimum atau kurang yang ditemui dilapangan, perencanaan dari settling velocity atau kecepatan aliran dari column yang dipelajari biasanya dikalikan dengan factor 0.65 sampai 0.85, dan waktu detensinya dikalikan dengan factor 1.25 sampai 1.5.

### 3.3 *Hindered settling (type 3)*

Dalam sebuah sistem pengolahan yang mengandung konsentrasi *Suspended Solids* yang tinggi, keduanya terganggu atau *zone settling (type 3) and compression settling (type 4)* biasanya terjadi penambahan untuk partikel diskrit bebas dan pengendapan flokulan. Untuk tujuan perencanaan, kecepatan aliran akhir harus mempertimbangkan beberapa faktor (1) area yang dibutuhkan untuk penguraian (2) area yang dibutuhkan untuk pengentalan, dan (3) jumlah lumpur yang akan keluar. Area yang diperlukan untuk pengentalan (*thickening*) biasanya

lebih besar daripada area yang digunakan untuk pengendapan, nilai *free settling* jarang sekali menggunakan faktor pengontrol. Area yang dibutuhkan untuk pengentalan dapat ditentukan dengan persamaan

$$A = \frac{Qt_u}{H_0} \dots\dots\dots(3.12)$$

dimana A = area yang diperlukan untuk thickening m<sup>2</sup>

Q = debit dalam tangki m<sup>3</sup>/s

H<sub>0</sub> = initial height of interface in column m

t<sub>u</sub> = waktu yang digunakan untuk mencapai underfloe konsentrasi yang diinginkan.

### 3.4 Compression settling (tipe 4)

Volume yang dikehendaki untuk lumpur di dalam area compression dapat ditentukan dengan settling test.

$$H_t - H_\infty = (H_2 - H_\infty) e^{-i(t-t_2)} \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana H<sub>t</sub> = sludge height time t

H<sub>∞</sub> = sludge depth after long periode, say 24 jam

H<sub>2</sub> = sludge height at time t<sub>2</sub>

i = constant for given suspension

Tabel 3.6. Kriteria perencanaan bak sedimentasi

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Beban permukaan	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hri	24 – 48
2	Laju limpahan	m <sup>3</sup> /m.hri	16 – 100
3	Td	jam	1 – 4
4	Pemisahan SS	%	80 – 95

Sumber : Met Calf dan Eddy, 2003

#### 4. Aerasi

Bak ini berfungsi untuk mengontak air limbah dengan udara, agar kandungan oksigen dalam air meningkat. Bak aerasi terdiri dari bak-bak dengan bentuk tertentu dengan variasi kedalaman 2-6 meter. Optimalisasi aerasi adalah perlakuan penambahan oksigen terhadap air limbah yang diolah, sehingga diharapkan dapat memberikan tingkat perbaikan kualitas yang baik dalam proses degradasi bahan organik dengan adanya mikroorganisme. Kebutuhan udara dalam bak aerasi harus tersedia oksigen minimal 1 – 2 mg/l. Kebutuhan oksigen secara teoritis dapat ditentukan berdasarkan BOD air limbah tersebut., juga jumlah organisme yang dibuang setiap hari. Apabila seluruh BOD dikonversikan seluruhnya menjadi produk akhir, maka kebutuhan oksigen diperhitungkan berdasarkan konversi BOD ultimate (Djajaningrat, 1992).

Tabel 3.7. Kriteria perencanaan bak aerasi

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kedalaman bak	m	2 – 5
2	Pemberian udara	m <sup>3</sup> /kgBOD	40 – 80
3	Umur lumpur	Hari	5 – 10
4	MLSS	mg/L	1500 – 1800
5	F/M	Kg-BOD/kg-MLSS	0.2 – 0.4
6	BOD removal efisiensi	%	85 – 95

Sumber : Reynolds, 1992.

#### 5. Bak Pengering Lumpur

Bak ini berfungsi untuk mengolah lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air buangan. Dalam pengolahan air limbah, dihasilkan sludge



(lumpur) yang tidak sedikit. Untuk itu sludge yang dihasilkan perlu diolah dengan membangun unit pengolahan lumpur (*sludge treatment*). Sludge drying bed merupakan suatu bak yang dipakai untuk mengeringkan lumpur. Bak ini berbentuk persegi panjang yang terdiri dari lapisan pasir atau kerikil dan pipa drain yang berfungsi mengalirkan air dari lumpur yang dikeringkan. Waktu pengeringan tercepat adalah 10 hari dengan bantuan sinar matahari. Kadar air yang dapat dihasilkan dari proses ini sampai 7,5 %.

Tabel 3.8. Kriteria perencanaan bak pengering lumpur

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Periode pengeringan	Hari	5 – 15
2	Tebal lapisan pasir	cm	20 – 30
3	Tebal lapisan kerikil	cm	30
4	Tebal lapisan lumpur	cm	20 – 30
5	Pemisahan BOD	%	25 – 40
6	Diameter pasir	mm	0,8 – 1,2
7	Diameter kerikil	mm	1,2 – 2,5
8	Freeboard	cm	30 – 50

Sumber : Met Calf dan Eddy, 2003.

#### b. Pengolahan secara kimia

Metode pengolahan yang menghilangkan dan mengubah (conversion) kontaminan dapat dilakukan dengan penambahan bahan kimia atau dengan reaksi kimia lain yang dikenal dengan satuan proses kimia. Proses yang biasanya digunakan dalam pengolahan air limbah yaitu berupa :

##### Desinfeksi

Pembunuhan bakteri bertujuan untuk mengurangi atau membunuh mikroorganisme patogen yang ada di dalam air limbah. Mekanisme pembunuhan sangat dipengaruhi oleh kondisi dari zat pembunuhnya dan

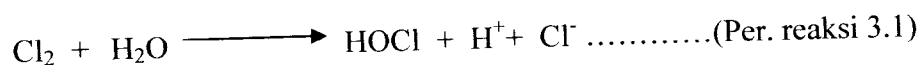
mikroorganisme itu sendiri. Banyak zat pembunuh kimia termasuk klorin dan komponennya mematikan bakteri dengan cara merusak atau menginaktifkan enzim utama, sehingga terjadi kerusakan dinding sel. Mekanisme lain dari desinfeksi adalah dengan merusak langsung dinding sel seperti yang dilakukan apabila menggunakan bahan radiasi atau panas.

Penggunaan panas dan bahan radiasi meskipun sangat baik hasil yang dicapai akan tetapi kurang cocok untuk diterapkan secara massal mengingat biaya pelaksanaannya sangat mahal serta cukup sulit dalam penanganannya. Oleh karena itu terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih bahan kimia bila akan dipergunakan sebagai bahan desinfeksi antara lain :

1. Daya racun zat kimia tersebut
2. Waktu kontak yang diperlukan
3. Efektivitasnya
4. Rendahnya dosis
5. Tidak toksis terhadap manusia dan hewan
6. Tetap tahan terhadap air
7. Biaya murah untuk pemakaian yang bersifat massal

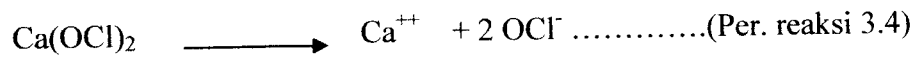
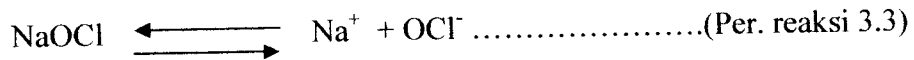
Dari pertimbangan tersebut, maka untuk menjernihkan air limbah banyak dipergunakan bahan antara lain klorin oksida dan komponennya, bromine, rodine, permanganat, logam berat, asam dan basa kuat.

Dalam dunia perdagangan yang biasa digunakan adalah klorin. Apabila klorin berupa gas maka reaksi yang terjadi adalah :

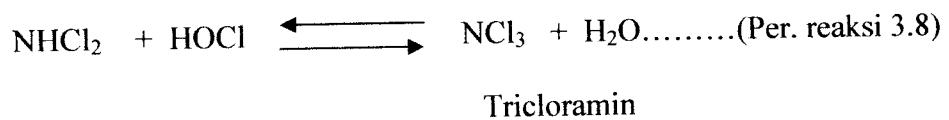
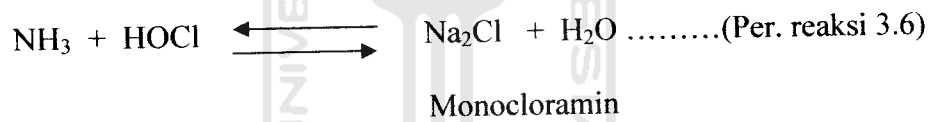




Selain gas dapat juga berupa garam-garam dari hipoklorida seperti NaOCl atau garam Ca (OCl)<sub>2</sub> yang dikenal sebagai kaporit.

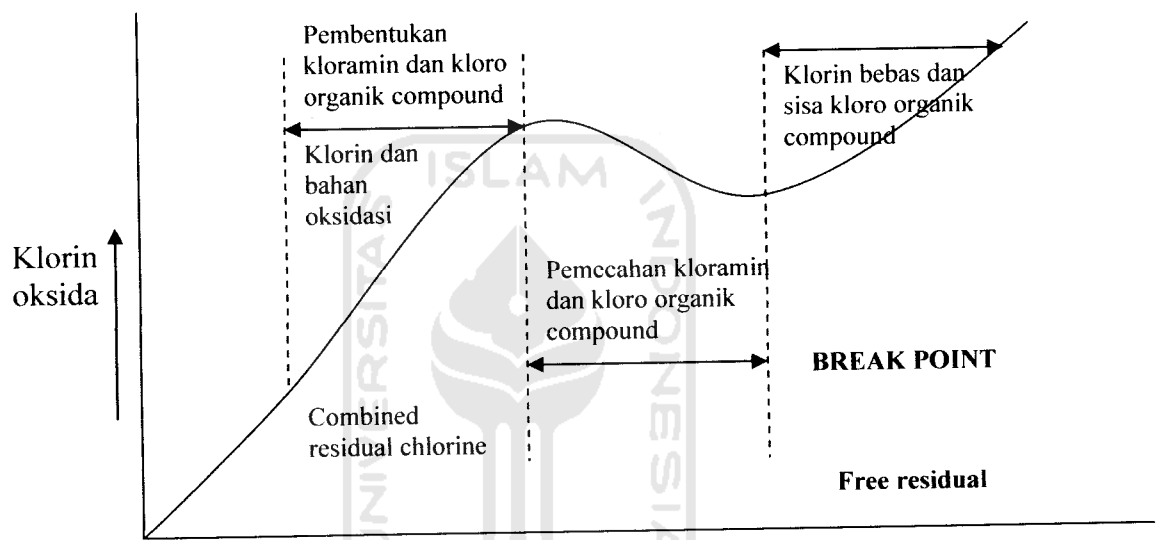


Disini HOCl dan OCl<sup>-</sup> disebut sebagai free available chlorine ( klor bebas) dengan daya bunuh HOCl 40-80 kali lebih besar dari daya bunuh OCl<sup>-</sup>. Apabila amoniak berada didalam air, maka HOCl akan bereaksi dengannya terlebih dahulu dan akan membentuk kloramin.



Ketiga clorammin dikenal sebagai combined available chlorine. Apabila bercampur dengan klorin maka daya bunuhnya akan menurun. Adapun gambaran reaksi dari klorin di dalam air adalah pada awalnya akan bereaksi dengan bahan yang mudah teroksidasi seperti ion ferro, nitrit (reducing compound) maka pada saat ini daya bunuh terhadap bakteri tidak ada. Untuk

selanjutnya akan bereaksi dengan amoniak dan bahan organik akan membentuk kloramin dan kloro organik compound, pada saat ini daya bunuhnya juga sangat rendah. Dengan penambahan secara terus menerus, maka kloramin dan kloro organik compound akan habis dan terbentuklah klor bebas. Titik dimana mulai timbul kenaikan klor bebas dikenal sebagai break point chlorination.



Gambar 3.2. Gambaran kurva break point dalam klorinasi terhadap air limbah.

Proses klorinasi dapat terjadi sebagai berikut :

Penambahan klor pada air yang mengandung senyawa nitrogen akan membentuk senyawa klorinasi yang disebut klor terikat. Pembentukan klor terikat ini tergantung pada pH, pada pH normal klor terikat ( $\text{NCl}_3$ ) tidak akan terbentuk kecuali jika break point telah terlampaui. (Sugiharto, 1987)

Desinfeksi adalah penghancuran bakteri pathogen penyebab penyakit.

Desinfeksi umumnya dapat dilakukan dengan :

- *chemical agen*, terdiri dari chlorine dan susunannya, bromide, iodine, ozon, phenol dan senyawa phenol, alcohol, logam berat, bahan pencelup, sabun dan detergen sintetis, ammonium, hydrogen peroksida, berbagai macam alkyl dan asam.
- *Physical agen*, dapat dilakukan dengan menggunakan pemanasan dan pencahayaan. Pemanasan air sampai titik didihnya dapat menghancurkan sebagian besar penyakit yang terdapat pada bakteri non spora. Cahaya matahari (UV) juga merupakan disinfektan yang baik.
- Menggunakan alat mekanis.
- Radiasi.

Syarat-syarat desinfeksi, yaitu :

1. Dapat mematikan seluruh jenis organisme patogen dalam air.
2. Dapat membunuh kuman dalam waktu singkat.
3. Ekonomis dan mudah dalam pengoperasiannya.
4. Air tidak boleh menjadi toxic setelah didesinfeksi.

Bahan kimia yang digunakan :

1. Zat pengoksidan, seperti klor, brom, ion kalium permanganat.
2. Metal ion.
3. Garam-garam alkali.

Mekanisme dari disinfektan adalah (1) menghancurkan dinding sel, (2) perubahan pada permeabilitas sel, (3) perubahan pada koloid alami di protoplasma, (4) menghambat aktivitas enzim.

Senyawa klor dapat mematikan mikroorganisme dalam air karena oksigen yang terbebaskan dan senyawa asam hypochlorous mengoksidasi beberapa yang penting dari bagaian sel bakteri sehingga rusak. Teori lain mengatakan bahwa proses pembubuhan bakteri oleh senyawa klor selain oleh oksigen bebas juga disebabkan oleh pengaruh langsung senyawa kimia yang bereaksi dengan protoplasma. Faktor yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi adalah :

- a. Waktu kontak
- b. Konsentrasi disinfektan.
- c. Jumlah mikroorganisme
- d. PH
- e. Adanya senyawa lain didalam air.

Tabel 3.9. Kriteria perencanaan bak Desinfeksi

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Beban permukaan	$m^3/m^2 \cdot hri$	24 – 48
2	Dosis klor	mg/L	2 – 8
3	Td	jam	1 – 4
4	Kaporit	%	70
5	Larutan cairan klor	%	0,5 – 5

Sumber : Met Calf dan Eddy, 2003.

### c. Pengolahan secara biologi

Pengolahan secara biologi pada air buangan adalah untuk membentuk koagulan dan menghilangkan koloid yang tidak dapat mengendap dan untuk

menstabilkan kualitas air limbah seperti bahan organik dengan cara memanfaatkan mikroorganisme. Pengolahan biologis juga merupakan pengolahan air limbah yang dilakukan setelah melalui pengolahan primer yang menuntut peran aktif mikroorganisme terutama bakteri dan membutuhkan oksigen untuk mempertahankan bakteri tersebut.

Keadaan aerob (terdapat unsur oksigen) mikroba memecah polutan zat organik menjadi zat-zat yang lebih sederhana misal karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Amonia ( $\text{NH}_3$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Pada keadaan anaerob (tanpa udara) zat organik terpecah menjadi gas metan ( $\text{CH}_4$ ), Amonia ( $\text{NH}_3$ ), karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Pada saat mikroba memecah zat organik, mikrobia membutuhkan oksigen yang ada di sekitar air limbah tersebut sehingga lama-kelamaan oksigen dalam air limbah akan habis dan pada saat habis akan terjadi suasana anaerob dan disini mikroorganisme yang hidup berganti menjadi mikroba anaerob. Oleh sebab itu untuk mempertahankan agar kondisi tetap aerob perlu diberikan udara dari atmosfer. Cara pemberian udara ke dalam air limbah ini disebut aerasi. Proses aerasi banyak caranya misal dengan kincir diputar oleh motor listrik atau blower dan ada pula yang dibuat seperti air terjun (Metcalf and Eddy, 2003).

Ada 2 (dua) macam proses penguraian secara biologi yaitu:

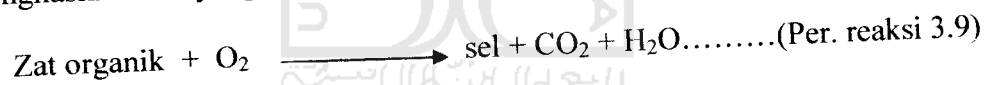
» Pengolahan secara aerobik

Pengolahan secara aerobik yaitu pengolahan yang berlangsung dengan hadirnya oksigen dimana proses stabilisasi/penguraian dilakukan oleh mikroorganisme aerobik atau fakultatif. Dalam pengertian bioteknologi

lingkungan, proses-proses aerob digunakan untuk penanganan dan stabilisasi limbah cair.

Prinsip pengolahan secara aerobik ialah menguraikan secara sempurna senyawa organik yang berasal dari air buangan dalam periode waktu yang sangat singkat. Penguraian dilakukan oleh sejumlah mikrobia terutama bakteri. Selama proses berlangsung metabolisme penguraian oleh bakteri dipengaruhi sejumlah sumber nutrisi dan sejumlah oksigen. Keduanya saling berkaitan dalam membantu pertumbuhan bakteri. Bakteri akan berkembang biak secara baik dan energi yang cukup untuk menguraikan senyawa organik, selama sumber nutrisi cukup dan sejumlah oksigen tidak berkurang (Suriawiria, 1986).

Proses pemecahan zat organik menjadi zat yang lebih sederhana, dimana mengandung polutan rendah pada keadaan aerob terjadi reaksi hayati yang menghasilkan sel yang dapat mengendap.



Proses ini menghasilkan lumpur dari zat organik tersebut dan apabila pemecahan ini berlanjut terus menerus terbentuk lumpur yang semakin banyak, bersamaan dengan hal tersebut juga terjadi penurunan polutan zat organik diperkirakan penurunan polutan zat organik ini dapat mencapai kurang lebih 90%. Pada saat proses penurunan kadar polutan zat organik dalam air limbah secara aerob terjadi peristiwa pengurangan zat tersuspensi melalui peningkatan lumpur aktif. Peristiwa ini dapat berjalan cepat atau lambat tergantung pada kontak lumpur aktif yang terbentuk dengan air limbah yang diolah (Metcalf and Eddy, 2003).



Penurunan BOD pada proses ini berjalan dengan beberapa tahapan yaitu pertama, pengurangan zat organik koloid melalui peristiwa absorpsi kimia fisika pada lumpur hayati. Kedua, selanjutnya terjadi penyerapan secara hayati zat organik yang terlarut. Di sini sangat dipengaruhi oleh keadaan lumpur dan zat organik polutannya. Ketiga, peristiwa yang terjadi dalam reaksi hayati tersebut berjalan bersama-sama yaitu pada saat kontak terjadi antara lumpur dan polutan organik baik berbentuk koloid, terlarut maupun tersuspensi (Metcalf and Eddy, 2003).

Pengolahan ini bisa berupa :

- *Activated sludge*
- *Trickling filter*
- *Aerobik stabilization pond*

Dimana tujuan penggunaan mikroorganismenya pada pengolahan tersebut untuk membantu terbentuknya flok-flok dan partikel-partikel koloid organik.

» Pengolahan secara anaerobik

Pengolahan secara anaerobik ini merupakan pengolahan yang berlangsung tanpa adanya oksigen dimana proses stabilisasi/penguraian dilakukan oleh mikroorganismenya anaerobik dan fakultatif. Pada pengolahan secara anaerobik ini menghasilkan padatan sisa yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses aerobik.

Proses pengolahan secara anaerobik juga merupakan proses yang digunakan untuk mengolah limbah organik pekat (air buangan dengan BOD tinggi). Proses ini disamping dapat memecah zat organik dapat pula dimanfaatkan untuk



menghasilkan gas metan yaitu gas yang dapat diubah menjadi energi panas. Limbah organik jenisnya sangat kompleks, dalam kondisi anaerob pada awal proses akan terjadi proses hidrolisa dan fermentasi oleh adanya mikrobia fakultatif, selanjutnya oleh mikrobia anaerob dilanjutkan pemecahan menjadi asam-asam lemak. Asam-asam lemak akan dioksidasi dan menghasilkan  $H_2$  dan asetat. Proses ini disebut dengan proses hidrogenasi dan acetogenasi yang selanjutnya berakhir dengan proses metanogenasi. Terjadinya metan ini melalui beberapa perubahan komponen dari bentuk ikatan yang kompleks terpecah menjadi bentuk-bentuk ikatan yang sederhana. Kemampuan mencerna zat organik dalam proses anaerob dapat dinaikkan efektifitasnya dengan cara memilih bentuk reaktor yang tepat. Jenis bak anaerob (reaktor) bermacam-macam dan masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian dalam pemakaiannya (Metcalf and Eddy, 2003).

Menurut Benefit and Randal (1980), dalam keadaan anaerob bahan air limbah mengalami perubahan menjadi produk anorganik oleh bakteri anaerob. Tahapan yang terjadi pada proses anaerobik ialah :

- a. Tahapan Hidrolisis
- b. Tahapan Acidogenesis (Pembentukan Asam)
- c. Tahapan Methanogenesis (Pembentukan methan).

Berdasarkan substrat bakteri yang aktif berperan dalam proses anaerobik ada empat yaitu :

1. Bakteri Hidrolik berperan menguraikan bahan organik dalam air limbah menjadi asam-asam organik dan menghasilkan  $H_2$  dan  $CO_2$ .

2. Bakteri Acitogen (penghasil asam asetat) akan membentuk asetat, tetapi tidak membentuk  $H_2$  dan  $CO_2$ .
3. Bakteri Methan (Methanogenic) akan membentuk  $CO_2$  dan  $CH_4$ . Dimana bakteri methane adalah bakteri yang memegang peranan penting dan aktif dalam proses perombakan anaerob.

Pengolahan secara anaerobik banyak digunakan sebagai teknologi pengolahan yang efektif untuk limbah cair perkotaan dan lumpur, juga untuk pengolahan bermacam-macam limbah cair industri. Teknologi pengolahan limbah cair secara anaerobik merupakan pilihan yang menarik bagi pengelola perkotaan dalam upaya pengembangan wilayahnya, dikarenakan energi yang dibutuhkan untuk operasi maupun prosesnya sangatlah rendah (minimal) dibandingkan yang dibutuhkan untuk proses aerob. Selain itu proses ini mudah pengoperasiannya dan mudah perawatannya. Perlu diketahui bahwa proses anaerob menghasilkan gas methane ( $CH_4$ ) yang dapat dirubah menjadi tenaga listrik maupun mekanik pada instalasi pengolahan cair secara aerob untuk mengoperasikan blower dan pompa (Malina,1992).

Pengolahan ini dapat berupa :

- *Anaerobik stabilization pond*
- *Anaerobik filter*
- *Digester or sewage sludge*

(Djajadiningrat, 1992)

Dibandingkan dengan sistem penanganan limbah secara aerob, proses anaerob dalam penanganan limbah memiliki beberapa keuntungan, diantaranya :

1. Proses anaerob menghasilkan padatan lumpur yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses aerob.
2. proses anaerob menghasilkan gas metan yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar.
3. Biaya operasionalnya rendah.
4. Kebutuhan energi lebih kecil daripada proses aerob (Lumpur Aktif).

Pengolahan biologi ini bertujuan untuk menghilangkan bahan organik dari air limbah seperti BOD, COD, nitrifikasi, denitrifikasi dan stabilisasi. Dalam pengolahan biologi tersebut sebelumnya ada perlakuan awal dari pengolahan primer untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang bersifat racun terhadap mikroorganisme (Ediarti dan Sutyasmi, 1990).

Di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi, misalnya proses lumpur aktif. Proses lumpur aktif terus berkembang dengan berbagai modifikasinya, antara lain oxidation ditch dan kontak stabilisasi. Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, oxidation ditch mempunyai beberapa kelebihan, yaitu efisiensi penurunan BOD dapat mencapai 85 – 90 % ( dibanding 80 – 85% ) dan lumpur yang dihasilkan lebih sedikit. Selain itu efisiensi yang lebih tinggi (90 – 95 %) kontak stabilisasi mempunyai kelebihan yang lain, yaitu waktu detensi hidrolis total lebih pendek (4 – 6 jam).

Apabila BOD air limbah tidak melebihi 400 mg/l, proses aerob masih dianggap lebih ekonomis daripada anaerob. Pada BOD lebih tinggi dari 4000 mg/l, proses anaerob menjadi lebih ekonomis (Djajadiningrat, 1992). Konsekuensi dalam pengolahan biologi dibutuhkan peralatan yang dapat menghasilkan oksigen agar proses oleh bakteri dapat berlangsung sebaik mungkin. Keadaan lingkungan yang sesuai adalah penting untuk pertumbuhan mikrobia tetapi banyak yang dikendalikan untuk mencapai keadaan ideal. Kondisi lingkungan, dengan pengaturan pH, suhu, penambahan nutrisi dan unsur-unsur penting, pemenuhan kebutuhan oksigen dan pengadukan yang baik (Ediarti dan Sutiyasmi, 1990).

Ada dua hal penting dalam proses biologis ini antara lain :

a. Proses penambahan oksigen (aerasi)

Proses lumpur aktif yaitu proses aerob dengan memberikan oksigen secara terus menerus ke dalam air limbah. Pemberian oksigen dilakukan dengan pemakaian kompresor, sehingga diperlukan tenaga listrik.

b. Proses pertumbuhan bakteri dalam reaktor

Bakteri diperlukan untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Oleh karena itu diperlukan jumlah bakteri yang cukup untuk menguraikan bahan organik tersebut. Untuk mempertahankan pertumbuhan bakteri maka perlu penambahan kembali bahan lumpur yang telah banyak mengandung makanan. Lumpur yang biasanya digunakan untuk penambahan bahan makanan ini disebut lumpur aktif. Pemberiannya dilakukan sebelum memasuki bak aerasi dengan

mengambil lumpur dari bak pengendap kedua atau dari pengendap terakhir (Sugiharto, 1987)

### 3.2 Dasar Perencanaan Pengolahan Air Limbah

Perencanaan desain konstruksi dan operasi system instalasi pengolahan air buangan merupakan masalah yang kompleks. Karena itu diperlukan dasar perencanaan yang meliputi :

a) *Initial Year and Design Year*

*Initial Year* adalah tahun dimana proses pembangunan konstruksi selesai dan awal operasi mau berjalan. Sedangkan *Design Year* merupakan tahun dimana instalasi tersebut telah mencapai kapasitas *design* yang telah direncanakan. Periode design adalah periode dari *Initial Year* sampai *Design Year*.

b) *Service Area*

*Service Area* adalah total area yang dilayani fasilitas pengolahan air buangan.

c) Pemilihan Lokasi.

Pemilihan lokasi bangunan instalasi pengolahan air buangan didasarkan pada tanah yang digunakan pada daerah tersebut dan pola pengembangannya.

Adapun pertimbangan-pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah :

1. Instalasi pengolahan air buangan diletakkan pada elevasi yang rendah sehingga memungkinkan aliran gravitasi.
2. Area besar sehingga memungkinkan adanya pengembangan

3. Tersedia lahan untuk pembuangan sludge.
4. Dekat dengan badan air penerima effluent dari instalasi.
5. Jauh dari pemukiman.
6. Lokasi sebaiknya tidak terletak pada daerah rawan banjir.

d) Design Populasi

Kuantitas air buangan tergantung pada populasi dan besarnya air buangan perkapita.

e) Tinjauan Terhadap *Water Quality Manajemen*

*Water Quality manajemen* merupakan system pengolahan air, tetap memenuhi persyaratan sesuai dengan tata guna air. Tujuan *water quality manajemen* adalah mengelola kualitas air permukaan dan kualitas air tanahagar sesuai dengan persyaratan kualitas air yang telah ditetapkan.

Standar kualitas air meliputi :

o *Effluent Standart*

Merupakan pembatasan terhadap kualitas maupun kuantitas air yang dibuang dan disesuaikan dengan penggunaan badan air penerima.

o *Steram Standart*

Merupakan peninjauan terhadap standart kualitas air penerima untuk melakukan *self purification* dan kemampuan melakukan pengenceran.

f) Karakteristik Air Buangan

Karakteristik air buangan yang termasuk ke bangunan pengolahan, dibagi menjadi:

- o Karakteristik Fisik.

- Karakteristik Kimia.
- Karakteristik Biologi.
- Karakteristik Aliran.

g) Derajat Pengolahan

Derajat pengolahan dari pengolahan bangunan air buangan tergantung dari karakteristik air yang akan diolah dan standart.

- Nitrifikasi.
- Denitrifikasi.
- *Chlorination*
- *Coagulation*

Di samping pengolahan di atas, perlu dilengkapi unit pengolahan Lumpur.

Tujuan dari pengolahan Lumpur adalah :

- Mereduksi volume lumpur dengan jalan mengurangi kadar air dalam lumpur.
- Menstabilkan Lumpur bila terdapat logam berat yang berbahaya.

Adapun unit pengolahan Lumpur yaitu :

- *Sludge Digester*
- *Sludge Thickener*
- *Sludge Drying Bed*

h) Pemilihan Peralatan

Pemilihan tipe peralatan yang sesuai akan mencapai hasil pengolahan yang diinginkan.



i) **Pemilihan Proses Pengolahan**

Bangunan pengolahan air buangan berguna dalam proses pengolahan untuk mencapai tingkat pengolahan yang diinginkan. Dalam pemilihan proses pengolahan, dibutuhkan pemahaman tentang unit operasi dan proses. Kemampuan operasional dan efek lingkungan dari berbagai macam komponen pengolahan.

j) **Lay Out Instalasi dan Profil Hidrolis**

Di dalam perencanaan design dan konstruksi bangunan pengolahan, kondisi dan keadaan lokasi pengolahan yang telah dipilih harus dipertimbangkan dengan baik. Kondisi lokasi seperti : topografi, luas lahan, head yang tersedia dan lain-lain harus dipertimbangkan dalam pemilihan unit pengolahan dan profil hidrolis.

k) **Energy dan Resource Requirements**

Di dalam perencanaan design dan konstruksi bangunan pengolahan air buangan, diperlukan energi untuk mengoperasikan alat pada instalasi pengolahan. Sumber energi yang dibutuhkan untuk operasi berupa energi listrik dari PLN maupun dari generator. Energi yang sifatnya primer adalah energi yang digunakan untuk operasi unit pengolahan, sedangkan energi sumber adalah energi untuk operasi alat pada unit pembubuhan bahan kimia dan penerangan instalasi.

l) *Plant Economics*

Dalam *design* dan perencanaan bangunan pengolahan air buangan, perlu ditunjukkan analisa biaya untuk menjamin bahwa konstruksi serta operasi dan pemeliharaan layak untuk perencanaan tingkat pengolahan dan proses.

m) Penilaian Dampak Lingkungan

Penilaian dampak lingkungan harus mengevaluasi semua akibat yang menguntungkan dan merugikan, yang mungkin diakibatkan dari konstruksi fasilitas pengolahan air minum.

### 3.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah

Ada berbagai jenis alternatif pengolahan dalam mengolah air buangan dan berbagai macam kombinasi dari unit operasi dan unit proses. Dalam menentukan unit operasi dan unit proses yang akan digunakan kita harus mempertimbangkan beberapa faktor yang sangat penting diantaranya proses yang dapat digunakan atas pembangunan di atas sesuatu yang berhubungan dengan bangunan tersebut, dan bagaimana gambaran langsung dari keahlian dan pengalaman rancangan seorang engineer.

Pemilihan alternatif pengolahan dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek, yaitu :

a) Aspek Teknis

- Bahwa desain yang dibuat harus mempunyai efisiensi yang cukup tinggi, sehingga mampu mereduksi kandungan organik dari limbah.

- Dari segi konstruksi, yang menyangkut teknis pelaksanaan ketersediaan tenaga ahli, kemudahan material konstruksi dan instalasi bangunan.
  - Dari segi operasi dan pemeliharaan, yang menyangkut kemudahan dalam pengoperasian.
- b) Aspek Ekonomis
- Menyangkut masalah pembiayaan dalam hal konstruksi, operasi dan pemeliharaan instalasi bangunan pengolahan air buangan.
- c) Aspek Lingkungan
- Dalam pemeliharaan alternatif pengolahan air buangan, perlu dipertimbangkan hal-hal seperti berikut :
- o Kemungkinan timbulnya gangguan pada penduduk dan terganggunya keseimbangan ekologis.
  - o Penggunaan lahan bangunan pengolahan air buangan dikaitkan dengan nilai produk limbah yang dapat mencemari lingkungan.

Bangunan pengolahan merupakan ukuran keberhasilan dari desain, selain dari kualitas dari effluent atau berapa persen kadar kontaminan yang dihilangkan. Untuk sistem biologi ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerjanya dan harus diperhatikan agar diperoleh hasil yang diinginkan. Untuk jenis unit pengolahan, unit proses, efek kecepatan untuk memilih dan menentukan ukuran *secondary treatment*, persen removal dari tiap – tiap unit pengolahan, tipe dari prinsip reaktor yang digunakan dalam pengolahan air buangan, faktor yang

mempengaruhi kinerja dari unit – unit pengolahan, serta headloss tiap unit pengolahan ditunjukkan dengan tabel. Dari tabel tersebut dapat ditentukan kebutuhan unit pengolahan yang dibutuhkan agar dalam perencanaan bangunan pengolahan air buangan ini dapat mencapai inerja yang optimal sesuai dengan yang diinginkan.

Dalam proses perencanaan prasarana tersebut akan memerlukan pengetahuan dan pemahaman permasalahan pengolahan air limbah. Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- a. Kondisi lingkungan setempat, khususnya lingkungan fisik.
- b. Perkiraan jumlah dan jenis air limbah.
- c. Ketersediaan bahan bangunan dan dana pendukung baik untuk pembangunan maupun untuk operasi serta pemeliharannya.
- d. Ketersediaan tenaga kerja yang mampu melaksanakan pengelolaan secara tepat.
- e. Kualitas air buangan dari IPAL yang diinginkan.

Dari berbagai jenis dan tingkat teknologinya, maka yang sering digunakan yaitu :

1. Septik tank dengan kelengkapan sumur resapan atau saluran resapan.
2. Menggunakan kolam stabilisasi
3. Menggunakan proses aerasi intensif
4. Menggunakan proses *anaerobik filter treatment system*.

Dalam perencanaan baik septik tank maupun yang lain bangunan-bangunan tersebut selalu berdasarkan baik proses fisik, kimia maupun biologi dan ada yang berjalan secara tercampur maupun terpisah (Darmanto, 1995).

### 3.4 Pengolahan Limbah Cair dengan sistem *Activated Sludge*

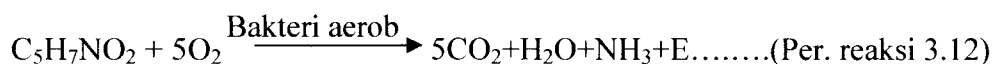
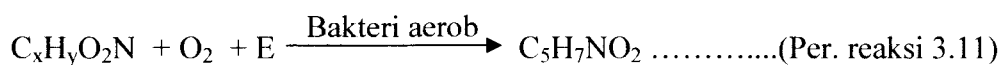
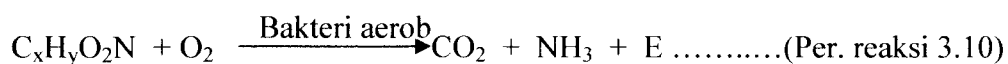
Proses lumpur aktif adalah suatu proses oksidasi biologi dengan bahan organik dirubah menjadi bahan anorganik, terjadi kontak antara air buangan dengan flok yang sudah terbentuk terlebih dahulu (aktif) dalam keadaan aerobik. Lumpur aktif banyak digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung kadar senyawa organik tinggi, terutama untuk buangan domestik.

Lumpur adalah materi tidak terlarut yang selalu tampak kehadirannya di dalam setiap tahap pengolahan, tersusun oleh serat-serat organik yang kaya akan selulosa dan di dalamnya terhimpun kehidupan mikrobial. Lumpur aktif merupakan padatan organik yang telah mengalami peruraian secara hayati sehingga membentuk masa hayati (biomassa) yang aktif dan mampu menyerap partikel-partikel di sekelilingnya kemudian membentuk massa yang mudah mengendap. Massa hayati yang paling dominan dan berperan disini adalah bakteri aerobik yang dapat mencapai  $10^2 - 10^9$  per cc dalam cairan campuran dan 90% dari padatan lumpur tersebut mengandung bakteri baik yang terdapat dilapisan sebelah dalam maupun dipermukaan luarnya (Anonim, 1987).

Menurut Tjokrokusumo (1995) lumpur aktif adalah lumpur yang di dalamnya terdapat mikroorganisme yang mampu merombak bahan-bahan organik yang terdapat dalam air buangan. Proses lumpur aktif ini terdiri dari dua tangki yaitu tangki aerasi dan tangki pengendap. Dalam tangki aerasi dimana dilakukan aerasi secara terus-menerus sehingga memungkinkan terjadinya kontak antara partikel flok mikrobial dengan komponen organik air buangan dan terjadi reaksi penguraian zat organik yang terkandung dalam air buangan secara biokimia oleh

mikrobia yang terdapat dalam lumpur aktif, oleh mikroorganisme aerob menjadi senyawa-senyawa anorganik, dimana pemecahan ini berlangsung dalam suasana aerob.

Reaksi :



Senyawa-senyawa organik tersebut sebagian dipergunakan oleh mikroorganisme sendiri dan sebagian dipecah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. penggunaan tersebut antara lain untuk pertumbuhan perbanyakan dan lain-lain. Setiap mikroorganisme dalam menjaga kelangsungan hidupnya selalu melakukan metabolisme sehingga perlu penambahan senyawa-senyawa organik dan dihasilkan CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan NH<sub>3</sub> (Anonim, 1987).

Pada proses lumpur aktif, air limbah yang tidak diolah atau diendapkan dicampur dengan lumpur yang dengan lumpur diaktifkan balik, yang volumenya 20 – 50% dari volumenya sendiri. Campuran tersebut (air limbah dan lumpur aktif) masuk ke dalam bak aerasi, sehingga tercampur dengan sejumlah besar oksigen dengan melakukan aerasi secara terus-menerus (Linsey and Franzani, 1991).

Kandungan organik merupakan parameter utama dari kualitas effluen. Effluen kandungan dari proses pengolahan secara biologis biasanya disusun atas 3 unsur pokok sebagai berikut :

1. Bahan organik terlarut yang mudah terurai secara biologi.
  - a. Organik yang keluar dari pengolahan secara biologi.
  - b. Organik yang terbentuk sebagai hasil lanjutan penurunan/penguraian limbah secara biologi.
  - c. Komposisi-komposisi yang terdiri dari sel (akibat kematian sel/lysil)
2. Bahan organik tersuspensi
  - a. Zat padat yang terbentuk secara biologis yang dihasilkan selama pengolahan yang keluar dari bak pengendap akhir.
  - b. Zat padat organik yang bersifat koloid dalam influent yang keluar dari pengolahan (pengolahan secara biologi) dan pemisahan (bak pengendap akhir).
3. Bahan organik yang tidak mudah terurai secara biologi
  - a. Yang adanya berawal dari effluen
  - b. Sebagai hasil dari penurunan (degradasi) secara biologis (George Tchobanoglous, 1979).

Salah satu masalah yang sering terjadi pada proses lumpur aktif adalah terjadinya "*bulking sludge*" atau penggumpalan, sehingga lumpur dari tangki aerasi tidak mau mengendap. Penggumpalan tersebut disebabkan oleh :

- a. Pertumbuhan organisme filamen (terutama *spaeerotiles*)
- b. Pertumbuhan organisme mikro yang mencakup sejumlah besar iar dalam susunan selnya yang menjadikan berat jenisnya mendekati berat jenis air, sehingga menyebabkan tidak dapat mengendap.
- c. Oksigen terlarut (*dissolved oksigen*) kecil.

- d. Jumlah nutrien sangat kecil/kurang.
- e. Beban lumpur tinggi/akumulasi lumpur terjadi dari dasar bak aerasi.
- f. Waktu tinggal lumpur dalam bak pengendap lama (Davis and Cornwell, 1991).

Untuk mengurangi atau mencegah terjadinya penggumpalan yaitu :

- a. Meningkatkan konsentrasi oksigen/menambah penyediaan udara lumpur dalam tangki aerasi.
- b. Mengurangi jumlah lumpur yang dikembalikan
- c. Pengenceran influen dengan air bersih.
- d. Menambah nutrien terutama nitrogen dan fosfor.
- e. Menambah kapur untuk mendapatkan pH sebesar 8 atau lebih.
- f. Melakukan klorinasi pada influen/bak pengendap/lumpur yang dikembalikan untuk membunuh mikroorganisme untuk filamen (Linsey and Franzani, 1991).

Keuntungan utama dari pengolahan limbah cair dengan menggunakan lumpur aktif yaitu :

- a. Dapat menghasilkan buangan yang bermutu tinggi (effluen tidak berbau).
- b. Tidak ada gangguan dari serangga dan lalat.
- c. Instalasi tidak memerlukan areal tanah yang luas.
- d. Biaya awal/pembuatan lebih kecil daripada membuat trickling filter.



Kerugian dari pengolahan dengan proses lumpur aktif adalah :

- a. Sangat sensitif terhadap perubahan organik
- b. Biaya oprasional mahal.
- c. Memerlukan tenaga yang terlatih dalam pengoperasiannya.
- d. Tidak fleksibel terhadap variasi beban hidrolis (Linsey and Franzani, 1991).

### **3.5 Pengolahan Limbah Cair dengan sistem *Upflow Anaerobik Sludge***

#### ***Blanket.***

Salah satu perkembangan paling terkemuka dari teknologi proses pengolahan secara anaerobik adalah *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) reaktor pada waktu sekitar tahun 1970an di Netherland oleh Lettinga dan teman sekerjanya. Beberapa macam UASB yang paling utama meliputi :

1. Proses UASB yang orisinil dan modifikasi desainnya.
2. Anaerobic Baffle Reactor (ABR)
3. Anaerobic Migrating Baffle Reactor (AMBR) (Metcalf and Eddy, 2003).

*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* atau lebih dikenal dengan istilah “selimut lumpur” adalah suatu reaktor pengolah limbah dengan proses anaerobik yaitu dengan penguraian senyawa organik secara biologi menjadi gas metan ( $\text{CH}_4$ ) dan karbondioksida( $\text{CO}_2$ ) tanpa kehadiran molekul oksigen (Widyo Pranoko, 1993).

Reaktor UASB terdiri dari tangki dengan sistem aliran ke atas dimana air limbah masuk dari bawah ke bagian atas reaktor melalui sludge blanket yang terbentuk di bagian bawah reaktor tersebut. Reaktor UASB dilengkapi dengan alat

*Gas Liquid Solid* (GLS) yang berfungsi sebagai pemisah antara gas, lumpur dan air bersih yang diletakkan dibagian atas reaktor.

Pada sludge blanket tergantung dari materi tersuspensi dengan konsentrasi tinggi dan bersifat sangat aktif dalam pertumbuhan mikroorganisme pengurai serta di dalamnya terjadi juga dekomposisi yang terdiri dari 2 tahap, yaitu:

1. Hidrolisa asam organik sederhana seperti asam asetat dan asam propionate oleh bakteri pembentuk asam.
2. Pengubahan senyawa organik menjadi gas  $CH_4$  dan  $CO_2$ .

Di dalam reaktor UASB dilakukan aklimasi guna menumbuhkan mikrobia hingga diperoleh granule (kumpulan mikrobia yang menggumpal) yang akan merombak air limbah yang masuk ke dalam reaktor. Prinsip kerja UASB pada dasarnya sebagai berikut :

1. Karena adanya gaya gravitasi maka *granule* cenderung akan mengendap.
2. Agar *granule* tidak mengendap, dibutuhkan dorongan ke atas dan dorongan tersebut dibuat dengan memasukkan limbah dari bawah reaktor. Selama pengalirannya akan terjadi kontak antara air limbah dengan mikroorganisme. Limbah yang masuk tersebut merupakan *feeding* (makanan) bagi mikroorganisme agar tetap hidup dan berkembang biak.

Proses ini terjadi pada zona kontak antara limbah dan mikroorganisme yang kemudian akan disebut sebagai selimut atau *blanket*. Agar proses penguraian berjalan dengan baik perlu diperhatikan dalam pengaturan dorongan masuk air

limbah karena bila terlalu kuat akan mendorong *granule* keluar melalui effluent sehingga perlu melakukan aklimasi yang memakan banyak waktu.

Perkembangan dari lumpur padatan *granule* ini tergantung pada karakteristik air limbah. *Granule* ini berkembang banyak jika air limbah mengandung karbohidrat dan gula yang tinggi, tetapi akan menjadi sedikit dengan air limbah yang mengandung protein tinggi, hasilnya malahan flok-flok yang lebih halus. Faktor lain yang mempengaruhi perkembangan padatan *granule* yaitu pH, kecepatan *Upflow*, tambahan nutrisi. pHnya harus diatur mendekati 7 dan direkomendasikan rasio COD:N:P selama startup adalah 300:5:1. Sementara rasio yang paling rendah bisa digunakan selama operasional yang terus-menerus yaitu 600:5:1. Kontrol dari kecepatan *Upflow* yang direkomendasikan selama *startup* yaitu mempunyai kecepatan yang cukup tinggi untuk mencuci bersih lumpur *nonflocculent* (Metcalf and Eddy, 2003).

Kemampuan biomassa aktif dalam proses anaerobik untuk membentuk flok meningkat seiring waktu, sampai akhirnya terbentuk partikel-partikel padat dan mengendap padat dan mengendap bersama-sama zat tersuspensi. Hal ini sering disebut dengan pengolahan limbah cair sistem UASB secara anaerob terhadap penurunan BOD dan COD (Lettinga, 1982).

Dalam hal ini yang menjadi landasan adalah kapasitas digester yang secara umum didasarkan pada periode digesti (waktu tinggal rata-rata sel atau waktu penyimpanan padatan).

Menurut MetCalf Eddy(2003), hal-hal yang mempengaruhi periode digestion yaitu rata-rata influent dari volume tangki (reaktor). Rata-rata influent dirumuskan:

$$Q = V \times A \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

$Q$  = debit rata-rata influent ( $m^3/det$ )

$V$  = kecepatan air ( $m/det$ )

$A$  = luas pipa ( $m^2$ )

Korelasi debit dan volume tangki atau reaktor dapat untuk menentukan waktu detensi sehingga kualitas air limbah yang diolah menjadi optimal.

Korelasi tersebut dirumuskan:

$$\theta = \frac{V_s}{Q} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

dimana:

$\theta$  = waktu detendi (jam)

$Q$  = debit tangki atau aerator ( $m^3/jam$ )

$V_s$  = volume tangki ( $m^3$ )

Waktu detensi dapat untuk mengetahui efisiensi dan unit pengolah air limbah, selain itu juga mempunyai hubungan dengan rata-rata penggunaan nutrien spesifik ( $\mu$ ) yang dikenal dengan rasio makanan mikroorganisme ( $F/M$ ), yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{Q_x} \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

dimana:

F/M = Ratio food mikroorganisme (perhari)

S<sub>0</sub> = Konsentrasi efluen BOD (g/ m<sup>3</sup>)

Qx = Laju aliran air limbah yang masuk (m<sup>3</sup>/hari)

Istilah μ dan F/M dihubungkan oleh proses efisiensi sebagai berikut :

$$\mu = \frac{(F/M)E}{100} \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana:

μ = Laju aliran spesifik

E = Efisiensi

Efisiensi proses seperti yang didefinisikan oleh persamaan :

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3.18)$$

dimana:

E = efisiensi proses (%)

S<sub>0</sub> = konsentrasi bahan pencemar sebelum pengolahan (mg/l)

S = konsentrasi bahan pencemar sesudah pengolahan (mg/l)