

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENURUNAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD)  
PADA AIR LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN  
REAKTOR *AEROKARBONBIOFILTER***

**Nama : Ida Farida**

**No. Mahasiswa : 03 513 031**

**Program Studi : Teknik Lingkungan**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**  
**Eko Siswoyo, ST.**



**Dosen Pembimbing II**  
**Any Juliani, ST, MSc.**



**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi,**  
**Luqman Hakim, ST, Msi.**



## KATA PENGANTAR



Alhamdulillahrabbi'l'amin, segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“PENURUNAN KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)* PADA AIR LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN REAKTOR *AEROKARBON BIOFILTER* “.**

Skripsi ini disusun untuk memenuhi tugas akhir sebagai syarat guna meraih gelar Sarjana Teknik Lingkungan pada Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, sebagai tempat menuntut ilmu saat ini.

Penyusun menyadari bahwa kesalahan dan kekurangan dari pada kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini, namun dengan segala kemampuan yang dimiliki penyusun mencoba dan berusaha menyusun skripsi ini sebaik mungkin dengan penuh harapan skripsi ini berguna bagi siapapun.

Melalui kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan memberikan dorongan, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini. Rasa terima kasih sedalam-dalamnya penulis sampaikan kepada;

1. Bapak Luqman Hakim, ST, MSi selaku kepala Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

2. Bapak Eko Siswoyo, ST selaku dosen pembimbing I, terimakasih atas bimbingan, ide, dan sarannya.
3. Ibu Any Juliani, ST, Msc selaku dosen pembimbing II, terimakasih atas bimbingan dan nasehatnya.
4. Ibu, Bapak, Kakak dan keluarga tercinta, terimakasih atas kasih sayang dan cinta terindah, doa serta dukungan yang tiada henti.
5. Sahabatku Anis, Yuyun, Reni, Iin, Meta, Ficky, Faisal, Fajar dan sahabat-sahabatku ex SMUNDA Cirebon lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih atas setiap kenangan terindah yang telah diberikan.
6. Teman baikku Ika, Pita, Atur, Mei, Fatih, Wita, Ana, Sisi, Erfan, Ali, Fadli, Eman dan semua teman-teman TL 2003.
7. Teman seperjuangan Acem, Ika dan Ari, terima kasih atas kebersamaan dalam suka dan duka.
8. Teman-teman KKN SL Unit 42, terima kasih atas pengalaman dan pelajaran berharga.
9. Sahabat, teman baik, sekaligus kakak; Aa. Terima kasih untuk semuanya!
10. Teman-teman kos; Ken, Eli, Nadia, Sari, Wita, Ana, Ita, Cici, Cahya, Dian. Terimakasih atas keceriaan dan kehangatan yang kalian beri.

Atas bantuan baik moril maupun materiil yang telah diterima penulis, baik yang telah disebutkan diatas maupun yang tidak sempat disebutkan satu per satu, semoga budi baik dan bantuan dari semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Amin.

# PENURUNAN KADAR CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA AIR LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN REAKTOR AEROKARBONBIOFILTER

Eko Siswoyo<sup>1)</sup>, Any Juliani<sup>2)</sup>, Ida Farida<sup>3)</sup>

## INTISARI

*Air limbah domestik yang belum mengalami pengolahan terdiri dari berbagai komponen-komponen yang tidak diinginkan. Beberapa diantaranya memiliki konsentrasi yang tinggi, sehingga dapat menimbulkan beberapa permasalahan terhadap badan air penerima. Komponen-komponen tersebut dapat berupa bahan organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun yang tidak terlarut. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah domestik (diambil dari septic tank) dengan menggunakan reaktor Aerokarbonbiofilter. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui tingkat efektifitas reaktor Aerokarbonbiofilter serta mengamati kondisinya dengan mencari waktu jenuh yang dibutuhkan oleh reaktor Aerokarbonbiofilter dalam menurunkan konsentrasi parameter Chemical Oxygen Demand (COD).*

*Dalam penelitian ini digunakan reaktor Aerokarbonbiofilter yang tersusun atas 4 proses, yakni proses aerasi, adsorpsi karbon aktif dan zeolit, aktivitas biologis, dan filtrasi pasir. Reaktor ini memiliki dimensi panjang 30 cm, lebar 30 cm, serta ketinggian total 140 cm. Metode penelitian dilakukan dengan cara mengalirkan limbah secara kontinu ke dalam reaktor dengan debit 2.75 L/jam selama 1 bulan. Pengambilan sampel serta pemeriksaan parameter Chemical Oxygen Demand (COD) dilakukan 2 hari sekali dengan metode titrimetri menurut SNI-70-1990-03.*

*Hasil dari penelitian yang dilakukan selama 1 bulan menunjukkan bahwa reaktor Aerokarbonbiofilter mampu menurunkan konsentrasi COD pada air limbah domestik dengan rata-rata efisiensi sebesar 37.50 %. Tingkat efisiensi penurunan COD terbesar ialah 78.57 %, dan tingkat efisiensi penurunan COD terkecil ialah 7.14 %. Waktu jenuh reaktor dimulai dari hari ke-9, hal ini dibuktikan dengan terus menurunnya nilai efisiensi penurunan COD dari hari ke hari. Penurunan konsentrasi COD disebabkan karena adanya proses oksidasi komponen-komponen organik pada aerasi, adsorpsi komponen organik pada karbon aktif dan zeolit, serta karena adanya penguraian komponen organik oleh mikroorganisme.*

*Kata kunci: Air limbah domestik, COD, Reaktor Aerokarbonbiofilter.*

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>2</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

# REMOVAL OF CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) CONCENTRATION IN DOMESTIC WASTEWATER USING AEROKARBONBIOFILTER REACTOR

Eko Siswoyo<sup>1)</sup>, Any Juliani<sup>2)</sup>, Ida Farida<sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*Untreated domestic waste contains of many undesirable substances. Many of them are available in high concentration, so that it can cause many problem in receivingbody of water. Those substances are categorized into organic or inorganic matter, weather soluble or insoluble. In these research domestic waste (taken from septic tank) is treated using Aerokarbonbiofilter reactor. The aims of these research are to know the effectiveness of Aerokarbonbiofilter reactor and to evaluate its condition by looking for the time clogging of Aerokarbonbiofilter reactor in reducing the Chemical Oxygen Demand (COD) concentration.*

*These research is using Aerokarbonbiofilter reactor which composed of 4 process; aeration, adsorbtion of activated carbon and zeolit, microbial activities, and sand filtration. These reactor has 30 cm of lenght, 30 cm of width, and 140 cm of height. Research metode used by pouring waste with 2.75 L/s of flowrate continously. Sampling and analysis of Chemical Oxygen Demand (COD) parameter are carry out every 2 days using titrimetri metode based on SNI-70-1990-03.*

*The result of these research shows that Aerokarbonbiofilter reactor is able to reduce COD concentration in domestic waste with the avarage of efficiency 37.50 %. The highest removal efficiency is 78.57 %, and the lowest removal efficiency is 7.14 %. The time clogging of reactor is starts in 9<sup>th</sup> day, it proves by the fact that the removal efficiency of COD is getting down day by day. Reducing of COD concentration is caused by the oxidation of organic matter in aeration process, activated and zeolit adsorbtion of organic matter, and organic matter degradation by micoorganisme.*

*Keywords: Aerokarbonbiofilter reactor, COD, Domestic waste.*

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>2</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAKSI</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Komposisi dan Sifat-sifat Air Limbah Domestik .....	5
2.2 Pengolahan Limbah Secara Biologis .....	10
2.3 Pengolahan Limbah Secara Aerobik.....	16
2.4 Pertumbuhan Bakteri Secara Melekat Pada Reaktor .....	18
2.5 Media <i>Styrofoam</i> .....	22
2.6 <i>Septic Tank</i> .....	26
2.7 <i>Chemical Oxigen Demand (COD)</i> .....	28
2.8 Efek Buruk Air Buangan.....	32
2.9 Pengolahan Limbah Menggunakan Reaktor <i>Aerokarbonbiofil-</i> <i>ter</i> .....	34
2.9.1 Proses Aerasi .....	34
2.9.2 Proses Adsorpsi .....	41

2.9.3	Proses Biologis .....	50
2.9.4	Proses Filtrasi.....	51
2.10	Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya .....	54
2.11	Hipotesa .....	55
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>56</b>
3.1	Lokasi Penelitian.....	56
3.2	Jenis Penelitian.....	56
3.3	Objek Penelitian .....	56
3.4	Variabel Penelitian.....	56
3.5	Desain Reaktor <i>Aerokarbonbiofilter</i> .....	56
3.6	Dimensi Reaktor <i>Aerokarbonbiofilter</i> .....	57
3.7	Tahap Penelitian.....	58
3.7.1	Persiapan Media.....	58
3.7.2	Penumbuhan Bakteri ( <i>Seeding</i> ) .....	60
3.7.3	Pelaksanaan Penelitian.....	60
3.7.4	Pemeriksaan Sampel.....	61
3.8	Analisa Data.....	63
3.9	Diagram Penelitian.....	65
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>66</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	67
4.2	Analisa Statistik .....	70
4.2.1	Hipotesis .....	71
4.2.2	Pengambilan Keputusan .....	71
4.3	Pembahasan Hasil Penelitian .....	71
4.3.1	Proses Aerasi .....	72
4.3.2	Proses Adsorpsi Karbon Aktif dan Zeolit.....	74
4.3.3	Proses Biologis .....	78
4.3.4	Proses Filtrasi.....	82

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipikal Komposisi Limbah Domestik .....	7
Tabel 2.2	Sifat Fisik Air Limbah Domestik.....	8
Tabel 2.3	Macam-macam Reaksi Untuk Berbagai Mikroorganisme.....	14
Tabel 2.4	Klasifikasi Temperatur Pada Proses Biologis.....	15
Tabel 2.5	Karakteristik Efluen dari <i>Septik Tank</i> Konvensional.....	28
Tabel 2.6	Bahan Organik Pengganggu Dalam Analisa COD .....	31
Tabel 2.7	Perbandingan Rata-rata Angka BOD <sub>5</sub> / COD Untuk Beberapa Jenis Air.....	32
Tabel 3.1	Dimensi Reaktor Aerokarbonfilter.....	57
Tabel 4.1	Data Pengukuran Konsentrasi COD dan Efisiensi Removalnya ...	68



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komposisi Air Buangan Domestik .....	6
Gambar 2.2	Kurva Pertumbuhan Mikroba pada Sistem Tertutup .....	20
Gambar 2.3	Macam-macam Bentuk Media Plastik Sebagai <i>Low Density Media</i> .....	23
Gambar 2.4	Klasifikasi Proses <i>Fixed Film</i> Dalam Pengolahan Limbah.....	24
Gambar 2.5	Skema <i>Septic Tank</i> .....	26
Gambar 2.6	Macam-nacam Jenis <i>Gravity Aerator</i> .....	36
Gambar 2.7	Macam-nacam Jenis <i>Spray Aerator</i> .....	37
Gambar 2.8	Macam-nacam Jenis <i>Diffused Aerator</i> ` .....	38
Gambar 2.9	Mekanisme Removal Pada Filtrasi; a. Melalui <i>Straining</i> , b. <i>Sedimentation</i> , c. <i>Interception</i> , d. <i>Adhesion</i> ` .....	52
Gambar 3.1	Reaktor <i>Aerokarbonfilter</i> .....	58
Gambar 3.2	Media-media Yang Digunakan (a. Karbon aktif; b. Pasir kuarsa; c. Kerikil; d. Zeolit; e. <i>Styrofoam</i> ).....	59
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian .....	65
Gambar 4.1	Grafik Konsentrasi COD di Inlet dan Outlet.....	68
Gambar 4.2	Grafik Persentase Efisiensi Removal COD.....	69
Gambar 4.3	Skema Proses Adsorpsi Kontaminan Pada Air Limbah.....	76
Gambar 4.4	Skema <i>Slime Layer</i> Pada Pengolahan Biologis <i>Attached Growth</i> .....	80

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Hasil Out put Analisa Statistik Dengan Metode Paired Sample T-Test
- Lampiran 2. SNI 06-6989.15-2004 Mengenai Cara Uji COD dengan Metode Refluks Terbuka Secara Titrimetri
- Lampiran 3. Gambar Reaktor Aerokarbonbiofilter
- Lampiran 4. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan merupakan masalah regional sekaligus lingkungan global, serta merupakan masalah yang serius bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Permasalahan pencemaran lingkungan akan terus muncul secara serius di berbagai pelosok bumi sepanjang penduduk bumi tidak segera memikirkan dan mengutamakan keselamatan dan keseimbangan lingkungan hidup itu sendiri. Salah satu pencemaran lingkungan yang saat ini masih menjadi permasalahan yang sangat penting adalah masalah pencemaran badan air.

Pencemaran air merupakan salah satu permasalahan serius yang sedang kita hadapi saat ini disamping pencemaran udara dan pencemaran daratan yang juga tidak kalah pentingnya. Pencemaran ini disebabkan karena limbah cair langsung dibuang ke badan air tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu atau sudah melalui proses pengolahan limbah namun belum memadai. Salah satu sumber limbah adalah berasal dari limbah domestik. Sumber utama limbah domestik berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran serta daerah fasilitas rekreasi.

Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan cara mengamati parameter kimianya, seperti kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand = COD*). COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Boyd, 1998 dalam Effendi, H, 2003).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. (G. Alaerts, 1984).

Dengan kata lain, dengan melihat nilai COD kita dapat mengetahui sekaligus menentukan tingkat pencemaran yang terjadi pada suatu badan air.

Tingginya nilai COD pada perairan dapat menyebabkan konsentrasi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) rendah. Perairan yang memiliki kadar oksigen sangat rendah berbahaya bagi organisme akuatik. Semakin rendah kadar oksigen terlarut, menyebabkan toksisitas (daya racun) beberapa logam dan senyawa hidrogen sulfida serta amonia yang terkandung pada air limbah naik. Beberapa logam ini meliputi *zinc*, *copper* (tembaga), *lead* (timbal), dan sianida. Selain itu, rendahnya kadar oksigen terlarut juga dapat menyebabkan timbulnya rasa dan bau pada air.

Dari data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Neva Yulia (2006), menunjukkan nilai COD rata-rata pada air limbah domestik yang diambil dari *septic tank* kampus FTSP ialah sebesar 264.303 mg/L. Berdasarkan data sekunder tersebut serta dengan memperhatikan efek buruknya terhadap lingkungan air, maka perlu adanya pengolahan terhadap limbah domestik menggunakan reaktor *Aerokarbonbiofilter*. Reaktor *Aerokarbonbiofilter* tersusun atas aerasi tipe *tray* (*Tray aeration*) yang terdiri dari 4 *tray*, media karbon aktif, zeolit, media tempat tumbuh bakteri (*Fixed film*), dan pasir. Proses pengolahan limbah yang terjadi pada reaktor ini meliputi proses aerasi, adsorpsi karbon dan zeolit, proses biologis, dan proses filtrasi (*Sand filtration*). Proses-proses tersebut didesain sedemikian rupa agar dapat menurunkan kontaminan yang ada pada air limbah. Sehingga diharapkan mampu mengatasi permasalahan pencemaran air yang bersumber dari limbah domestik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah reaktor *Aerokarbonbiofilter* dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah domestik.

2. Seberapa lama reaktor *Aerokarbonbiofilter* dapat menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah domestik sampai terjadi kejenuhan.

### 1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang ditentukan dan agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan keinginan sehingga tidak terjadi penyimpangan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Alat yang digunakan adalah reaktor *Aerokarbonbiofilter* yang terdiri dari 4 tingkatan aerasi, karbon aktif, zeolit, media *seeding* (*styrofoam*), dan pasir.
2. Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah domestik yang berasal dari *septic tank* FTSP (selatan kantin FTSP).
3. Parameter air limbah yang diperiksa adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD).
4. Penggunaan karbon aktif dan zeolit sebagai *adsorban*, serta pasir sebagai media filter sampai pada titik kejenuhan.
5. Waktu yang digunakan untuk pengambilan sampel 2 hari sekali selama 30 hari.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Mengetahui besarnya penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah domestik.
2. Untuk mengetahui waktu jenuh reaktor *Aerokarbonbiofilter* dalam menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah domestik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

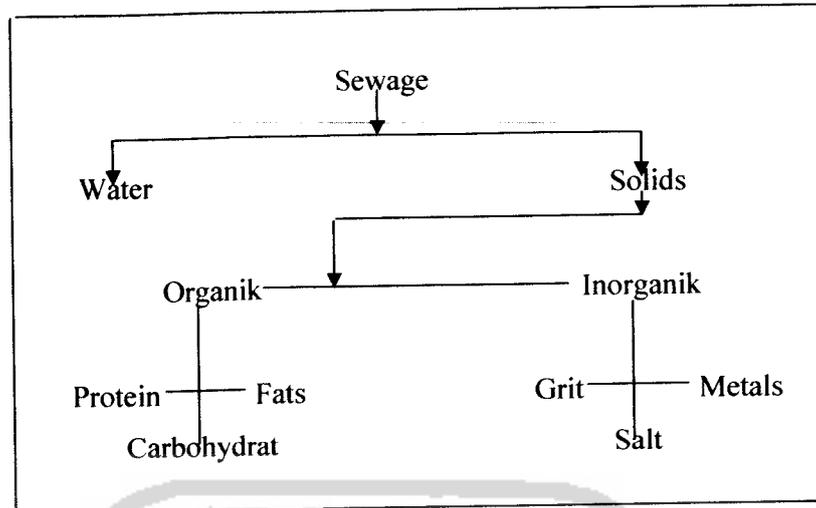
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Komposisi dan Sifat-sifat Air Limbah Domestik

Berdasarkan sumbernya air buangan dikategorikan menjadi dua kelompok, yakni air buangan domestik dan air buangan nondomestik. Air buangan domestik adalah air buangan yang terutama berasal dari daerah tempat tinggal (pemukiman), daerah komersial (perdagangan), daerah perkantoran dan fasilitas-fasilitas umum (Veenstra, 1995). Sedangkan air buangan nondomestik adalah air buangan yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber-sumber lain. Limbah ini sangat bervariasi, terutama untuk limbah industri. Limbah pertanian biasanya terdiri atas bahan padat bekas tanaman yang bersifat organik, pestisida, bahan pupuk yang mengandung Nitrogen, dan sebagainya.

Air buangan yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah berupa air buangan domestik, yang berasal dari *septic tank* kampus Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Definisi air buangan domestik ialah campuran yang rumit antara bahan organik dan anorganik dalam bentuk, seperti partikel-partikel benda padat besar dan kecil atau sisa-sisa bahan larutan dalam bentuk koloid (Mahida, 1986). Komponen utama pada air buangan domestik ialah berupa bahan organik. Bahan organik ini dapat bersumber dari buangan manusia (*human body waste*), deterjen, kosmetik, dan sisa makanan. Bahan organik ini merupakan kombinasi unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, serta unsur-unsur lain. Tipikal bahan organik dalam air buangan dalam bentuk protein (40 % - 60 %), karbohidrat (25 % - 50 %), dan minyak dan lemak (8 % - 12 %). Konsentrasi bahan organik ini dapat dinyatakan sebagai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TOC (*Total Organic Carbon*) ataupun ThOD (*Theoretical Oxygen Demand*) (Metcalf & Eddy, 2003).



Sumber: T. H. Y. Tebbutt, Principles of Water Quality Control, Pergamon, Oxford, 1970.

Gambar 2.1 Komposisi Air Buangan Domestik

Menurut Sawyer (1994) karakteristik utama senyawa organik adalah sebagai berikut:

1. Senyawa organik biasanya *combustible*. Sejumlah besar energi yang dilepaskan sebagai senyawa organik dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan oksida lain. Energi yang dilepaskan akan mempercepat reaksi
2. Senyawa organik biasanya memiliki titik leleh dan titik didih lebih rendah dibandingkan senyawa anorganik. Ikatan kovalen diantara molekul organik mengurangi ikatannya dengan molekul identik atau molekul lainnya
3. Senyawa organik biasanya kurang larut dalam air. Ikatan nonpolar karbon-karbon mengurangi daya larut senyawa ini pada pelarut polar, yaitu air.
4. Reaksi senyawa organik biasanya molekular daripada ionik, hal tersebut memperlambat tingkat reaksinya jika dibandingkan dengan senyawa ionik.
5. Valensi karbon memperkenankan senyawa organik untuk membentuk ikatan ganda dan karbon memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan kuat dengan senyawa organik tersebut.
6. Kebanyakan senyawa organik mampu menyediakan sumber energi bagi bakteri dan mikroorganisme lain (Droste, 1997).

Unsur-unsur yang terkandung pada limbah domestik dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut. Berdasarkan konsentrasi dari tiap unsur-unsur pokok tersebut, limbah domestik diklasifikasikan menjadi kuat, sedang, dan lemah atau ringan.

Tabel 2.1 Tipikal Komposisi Limbah Domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi		
		Rendah	Medium	Tinggi
Total Solid (TS)	mg/L	390	720	1230
Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	270	500	860
Fixed	mg/L	160	300	520
Volatil	mg/L	110	200	340
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	120	210	400
Fixed	mg/l	25	50	85
Volatil	mg/L	95	160	315
Settleable Solids	mL/L	5	10	20
BOD <sub>5</sub> 20°C	mg/L	110	190	350
Total Organik Karbon (TOC)	mg/L	80	140	260
COD	mg/L	250	430	800
Nitrogen (Total sbg N)	mg/L	20	40	70
Organik	mg/L	8	15	25
Amoniak bebas	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Phospor (Total Sbg Phospor)	mg/L	4	7	12
Organik	mg/L	1	2	4
InOrganik	mg/L	3	5	10
Klorida	mg/L	30	50	90
Sulfat	mg/L	20	30	50
Alkalinitas (sebagai CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	50	100	200
Minyak dan Lemak	mg/L	50	90	100
VOCs	mg/L	<100	100-400	>400
Total Coliform	No./100mL	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Fecal Coliform	No./100mL	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh air buangan domestik ialah sebagai berikut;

**2.1.1 Sifat Fisik**

Sebagian besar air buangan domestik tersusun atas bahan-bahan organik. Pendegradasian bahan-bahan organik pada air buangan akan menyebabkan kekeruhan. Selain itu kekeruhan yang terjadi akibat lumpur, tanah liat, zat koloid dan benda-benda terapung yang tidak segera mengendap. Pendegradasian bahan-bahan organik juga menimbulkan terbentuknya warna. Parameter ini dapat menunjukkan kekuatan pencemaran.

Komponen bahan-bahan organik tersusun atas protein, lemak, minyak dan sabun. Penyusun bahan-bahan organik tersebut cenderung mempunyai sifat berubah-ubah (tidak tetap) dan mudah menjadi busuk. Keadaan ini menyebabkan air buangan domestik menjadi berbau. Secara fisik sifat air buangan domestik dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Sifat Fisik Air Limbah Domestik

No	Sifat-sifat	Penyebab	Pengaruh
1	Suhu	Kondisi udara sekitar	Mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen atau gas lain. Juga kerapatan air, daya viskositas dan tekanan permukaan.
2	Kekeruhan	Benda-benda tercampur seperti limbah padat, garam, tanah, bahan organik yang halus, algae, organisme kecil.	Mematikan sinar, jadi mengurangi produksi oksigen yang dihasilkan.
3	Warna	Sisa bahan organik dari daun dan tanaman.	Umumnya tidak berbahaya, tetapi berpengaruh terhadap kualitas air.
4.	Bau	Bahan volatil, gas terlarut, hasil pembusukan bahan organik.	Mengurangi estetika.
5.	Rasa	Bahan penghasil bau, benda terlarut dan beberapa ion.	
6.	Benda Padat	Benda organik dan anorganik yang terlarut atau tercampur.	Mempengaruhi jumlah organik padat.

Sumber: Sugiharto, 1987.

### 2.1.2 Sifat Kimia

Pengaruh kandungan bahan kimia yang ada di dalam air buangan domestik dapat merugikan lingkungan melalui beberapa cara. Bahan-bahan terlarut dapat menghasilkan DO atau oksigen terlarut dan dapat juga menyebabkan timbulnya bau (*Odor*). Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau ini, sebabnya ialah struktur protein sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai menjadi bahan kimia lain oleh proses dekomposisi (Sugiharto, 1987).

Di dalam air buangan domestik dijumpai karbohidrat dalam jumlah yang cukup banyak, baik dalam bentuk gula, kanji dan selulosa. Gula cenderung mudah terurai, sedangkan kanji dan selulosa lebih bersifat stabil dan tahan terhadap pembusukan (Sugiharto, 1987).

Lemak dan minyak merupakan komponen bahan makanan dan pembersih yang banyak terdapat didalam air buangan domestik. Kedua bahan tersebut berbahaya bagi kehidupan biota air dan keberadaanya tidak diinginkan secara estetika selain dari itu lemak merupakan sumber masalah utama dalam pemeliharaan saluran air buangan. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh kedua bahan ini adalah terbentuknya lapisan tipis yang menghalangi ikatan antara udara dan air, sehingga menyebabkan berkurangnya konsentrasi DO. Kedua senyawa tersebut juga menyebabkan meningkatnya kebutuhan oksigen untuk oksidasi sempurna.

Selain lemak bahan pembersih lainnya adalah senyawa fosfor. Senyawa ini juga terdapat pada urin. Di dalam air buangan domestik fosfor berada dalam kombinasi organik, yaitu kombinasi fosfat ( $PO_4$ ) yang bersifat mudah terurai.

Senyawa lain yang ada dalam air buangan domestik adalah Nitrogen organik dan senyawa Amonium. Oksidasi Nitrogen dan Amonium menghasilkan nitrit dan nitrat.

### 2.1.3 Sifat Biologis

Keterangan tentang sifat biologis air buangan domestik diperlukan untuk mengukur tingkat pencemaran sebelum dibuang ke badan air penerima. Mikroorganisme-mikroorganisme yang berperan dalam proses penguraian bahan-

bahan organik di dalam air buangan domestik adalah bakteri, jamur, protozoa dan algae.

Bakteri adalah mikroorganisme bersel satu yang menggunakan bahan organik dan anorganik sebagai makanannya. Berdasarkan penggunaan makanannya, bakteri dibedakan menjadi bakteri autotrof dan heterotrof. Bakteri autotrof menggunakan karbondioksida sebagai sumber zat karbon, sedangkan bakteri heterotrof menggunakan bahan organik sebagai sumber zat karbonnya. Bakteri yang memerlukan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik disebut bakteri aerob, sedangkan yang tidak memerlukan oksigen disebut bakteri anaerob.

Selain bakteri, jamur juga termasuk dekomposer pada air buangan domestik. Jamur adalah mikroorganisme nonfotosintesis, bersel banyak, bersifat aerob dan bercabang atau berfilamen yang berfungsi untuk memetabolisme makanan. Bakteri dan jamur dapat memetabolisme bahan organik dari jenis yang sama.

Protozoa adalah kelompok mikroorganisme yang umumnya motil, bersel tunggal dan tidak ber dinding sel. Kebanyakan protozoa merupakan predator yang sering kali memangsa bakteri. Peranan protozoa penting bagi penanganan limbah organik karena protozoa dapat menekan jumlah bakteri yang berlebihan dan dapat mengurangi bahan organik yang tidak dapat di metabolisme oleh bakteri ataupun jamur serta membantu menghasilkan effluen yang lebih baik.

## **2.2 Pengolahan Limbah Secara Biologis**

Pengolahan biologis merupakan suatu proses alami. Bahan organik yang ada pada air akan terurai secara alami akibat adanya mikroorganisme pada badan air penerima. Pengolahan biologis didesain untuk mempercepat proses penguraian secara alami dan menetralkan limbah sebelum akhirnya dibuang pada badan air penerima (Droste, 1997).

Pengolahan limbah cair secara biologis memegang peranan yang sangat penting dalam penanganan limbah yang akan merombak bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah, mikrobial mempunyai penanganan yang tinggi

dalam mendegradasi bahan organik, sehingga peranannya dalam limbah cair cukup besar (Sugiharto, 1987).

Secara keseluruhan, tujuan pengolahan limbah secara biologis pada limbah domestik ialah (1) mengubah (mengoksidasi) unsur terlarut dan partikel *biodegradable* kedalam bentuk akhir yang cocok (2) menangkap dan menggabungkan padatan tersuspensi dan padatan koloid yang sulit diendapkan pada lapisan biofilm (3) mengubah atau menghilangkan nutrien, seperti nitrogen dan fosfor (4) pada beberapa kasus, menghilangkan unsur dan senyawa trace organik spesifik (Metcalf & Eddy, 2003).

Bakteri merupakan agen utama pada proses pengolahan limbah secara biologis. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh bakteri serta dengan terpenuhinya kebutuhan minimal untuk proses pertumbuhannya, menyebabkan bakteri dapat tumbuh pada lingkungan air limbah (Droste, 1997).

Pada proses biologis terdapat juga virus dan protozoa, namun jumlahnya sangat sedikit. Peranan virus dalam meremoval senyawa organik juga tidak signifikan. Protozoan terdapat pada air yang memiliki kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) tinggi dan kandungan bahan organik terlarut rendah (Droste, 1997).

Pada pengolahan kontaminan air tanah secara biologis, tujuannya ialah untuk menghilangkan atau mengurangi konsentrasi senyawa anorganik maupun anorganik. Karena banyaknya senyawa yang terdapat dalam kontaminan air tanah bersifat toksik terhadap organisme, maka diperlukan adanya pengolahan pendahuluan. Ketika kontaminan yang mengandung senyawa organik kontak dengan organisme, material organik akan dihilangkan/didegradasi oleh mikroorganisme melalui proses metabolik. Senyawa organik dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk membentuk sel baru atau menghasilkan energi yang dibutuhkan organisme untuk sistem kehidupannya. Menurut Tabak et. Al (1981); Kincannon dan Stover (1981); Kincannon, Stover dan Chung (1981); dan Kincannon et. Al (1981;1982), banyak senyawa organik toksik dapat didegradasi oleh organisme jika lingkungannya sesuai.

Mikroorganisme Heterotrop adalah kelompok mikroorganisme yang paling umum yang mampu menghasilkan proses metabolik untuk menghilangkan

senyawa organik pada kontaminan air tanah. Mikroorganisme Heterotrop menggunakan bahan yang sama sebagai sumber karbon dan energi. Sebagian bahan organik dioksidasi untuk menghasilkan energi sementara sebagian lagi digunakan untuk sintesis sel. Ada tiga metode yang digunakan oleh mikroorganisme Heterotrop untuk menghasilkan energi. Ketiganya ialah fermentasi, respirasi aerob, dan respirasi anaerob.

Pada proses fermentasi, sumber karbon dan energi dihancurkan melalui serangkaian reaksi enzim yang tidak melibatkan rantai perpindahan elektron. Pada respirasi aerob, sumber karbon dan energi dihancurkan melalui serangkaian reaksi enzim dimana oksigen digunakan sebagai sumber elektron akseptor eksternal. Pada respirasi anaerob, sumber karbon dan energi dihancurkan melalui serangkaian reaksi enzim dimana sulfat, nitrat, dan karbondioksida digunakan sebagai sumber elektron akseptor eksternal. Tiga cara dalam memperoleh energi tersebut menjadi dasar dalam proses pengolahan air limbah secara biologis (W. Canter and R. C. Knox, 1985).

Bahan nutrisi yang terkandung pada air limbah yang diadsorpsi oleh mikroorganisme, digunakan dalam berbagai reaksi biokimia yang berbeda-beda. Diantaranya ialah reaksi oksidasi, eksotermik, proses degradasi enzimatis yang dikenal dengan reaksi katabolisme, reaksi reduksi, endotermik, proses sintesis enzimatis yang dikenal dengan reaksi anabolisme. Katabolisme menyebabkan pelepasan energi bebas yang melekat pada struktur kompleks molekul organik. Energi ini disimpan dalam bentuk ATP (*Adenosine Triphosphate*). Anabolisme adalah proses sintesis yang menyebabkan kenaikan ukuran dan kompleksitas struktur kimia.

#### 1. Metabolisme Pada Organisme *Autotroph*

Organisme *Autotroph* terdiri dari organisme *Chemoautotroph* dan *Photoautotroph*. Organisme *Chemoautotroph* menggunakan karbon anorganik sebagai sumber karbonnya dan mendapatkan energi melalui oksidasi senyawa organik. Pada umumnya, oksigen digunakan sebagai elektron akseptor dan ATP dibentuk melalui *Phosphorylation*. Contoh mikroorganisme ini ialah bakteri dari genus *Nitrobacter*.

Organisme yang termasuk dalam jenis organisme *Photoautotroph* ialah algae. Algae menggunakan karbondioksida bebas sebagai sumber karbon dan memperoleh energi dari sinar matahari. Fotosintesis dapat didefinisikan sebagai suatu proses produksi senyawa organik dari karbondioksida dan air menggunakan energi cahaya. Hasil keseluruhan dari proses fotosintesis adalah reaksi reduksi dan oksidasi. Air dioksidasi dan elektron yang dilepaskan digunakan untuk mereduksi karbondioksida menjadi karbohidrat

## 2. Metabolisme Pada Organisme *Heterotroph*

Proses metabolisme pada organisme jenis ini ialah proses fermentasi. Pada proses fermentasi sumber karbon dan energi dihancurkan melalui serangkaian reaksi enzim. Sejumlah energi yang dilepaskan selama proses oksidasi disimpan melalui proses Substrat-level Phosphorylation. Ciri khas dari proses fermentasi ialah tidak dibutuhkan elektron akseptor eksternal (Benefield and Clifford W. R, 1980).

Bahan-bahan organik terlarut dan tidak larut dapat dihilangkan secara efektif melalui aktivitas biologis jika tersedia nutrisi dan lingkungan yang kondusif bagi kehidupan dan pertumbuhan mikroorganisme. Bagi mikroorganisme nutrisi berfungsi sebagai (1) menyediakan material yang dibutuhkan untuk mensintesis material sitoplasma (2) sumber energi untuk pertumbuhan sel dan reaksi biosintesis (3) sebagai elektron akseptor yang dilepaskan pada reaksi yang menghasilkan energi.

Tabel 2.3 Macam-macam Reaksi Untuk Berbagai Mikroorganisme

Reaksi Mikroba	Klasifikasi Mikroorganisme Berdasarkan Nutrisinya
$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{sel baru}]{\text{sinar}} (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Autotrophic, fotosintesis
$(\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	Respirasi sel, areobik
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 2\text{CO}_2$	Heterotrophic, aerobik
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 2\text{CO}_2$	Heterotrophic, anareobik, fermentasi
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3$	Heterotrophic, anareobik, fermentasi
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12 \text{KNO}_3 \longrightarrow 12\text{KNO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$	Heterotrophic, anaerobik redoks intermolekuler
$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	Autotrophic, kemosintesis, aerobik
$5\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{HNO}_3 \longrightarrow 5\text{H}_2\text{SO}_4 + 3\text{N}_2$	Chemoautotrophic, anareobik

Sumber: Benfield and Clifford W. R, 1980.

Lingkungan fisik tempat hidup mikroorganisme turut memengaruhi proses serta tingkat pertumbuhannya. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan efisiensi pengolahan, lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan mikroorganisme harus tersedia dalam proses pengolahan biologis. Dalam hal ini perlu diperhatikan temperatur, pH dan kebutuhan oksigen.

#### 1. Pengaruh Temperatur

Seluruh proses pertumbuhan mikroorganisme tergantung pada reaksi kimia, dan tingkat reaksi tersebut dipengaruhi oleh temperatur. Oleh karena itu, tingkat pertumbuhan mikroba dan jumlah total pertumbuhan mikroba dapat dipengaruhi oleh temperatur. Temperatur dibawah nilai optimum memiliki efek yang lebih signifikan terhadap tingkat pertumbuhan dibandingkan temperatur diatas nilai optimum; tingkat pertumbuhan menjadi 2 kali lipat setiap penambahan temperatur sebesar 10 °C sampai mencapai temperatur optimum. Kondisi dibawah temperatur optimum tidak terjadi pertumbuhan mikroba. Kondisi yang melebihi temperatur optimum menyebabkan komponen yang sensitif terhadap panas seperti enzim tidak dapat dipakai dan tingkat pertumbuhan menurun secara pesat. Berdasarkan rentang temperatur

dimana bakteri dapat berkembang dengan baik, bakteri dikelompokkan menjadi *Psychrophilic*, *Mesophilic*, *Thermophilic*.

Tabel 2.4 Klasifikasi Temperatur Pada Proses Biologis

Jenis Bakteri	Temperatur (°C)	Temperatur optimum (°C)
Psychrophilic	10-30	12-18
Mesophilic	20-50	24-40
Thermophilic	35-75	55-65

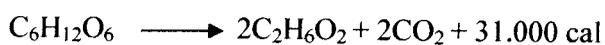
Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

## 2. Kebutuhan Oksigen

Berdasarkan ada atau tidaknya kehadiran molekul oksigen, organisme dibagi menjadi 3 kelas. Lebih spesifiknya mikroorganisme dapat dibagi berdasarkan elektron akseptornya. Organisme yang menggunakan molekul oksigen sebagai elektron akseptornya disebut organisme aerob, sedangkan organisme yang menggunakan molekul lain selain oksigen disebut organisme anaerob. Organisme fakultatif dapat menggunakan baik oksigen maupun beberapa senyawa kimia lainnya sebagai elektron akseptor. Meskipun demikian, pertumbuhan organisme lebih efektif pada kondisi aerobik.

Organisme obligate aerob tidak dapat tumbuh tanpa adanya oksigen, dan organisme obligate anaerob teracuni oleh adanya oksigen. Sebagian kecil mikroorganisme tumbuh optimal pada konsentrasi molekul oksigen sangat rendah mikroorganisme tersebut dikenal sebagai *Microaerophiles*.

Mikroorganisme *Heterotroph* aerob dan fakultatif pada umumnya mengoksidasi makanannya secara sempurna, sedangkan mikroorganisme fermenter tidak. Perbedaan dalam proses pembentukan energi dapat dilihat pada perbandingan reaksi metabolisme glukosa berikut;



Pada reaksi pertama, terjadi reaksi oksidasi senyawa secara sempurna, dan oleh sebab itu dihasilkan jumlah energi maksimum. Beberapa bakteri *Autotroph*

aerob juga dapat mengoksidasi senyawa anorganik yang digunakan sebagai energi secara sempurna. Bakteri *Thiobacillus* contohnya;



*Nitrosomonas* hanya mengoksidasi sebagian amonia pada kondisi aerob;



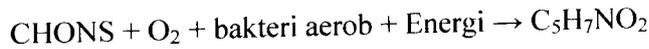
### 3. Pengaruh pH

pH juga merupakan faktor kunci dalam pertumbuhan bakteri. Bagi kebanyakan bakteri dan proses pengolahan limbah, kisaran pH-nya antara 4 dan 9. pH optimum bagi pertumbuhan bakteri pada umumnya berkisar antara 6.5 dan 7.5. Kebanyakan bakteri tidak dapat bertahan hidup pada pH diatas 9.5 dan dibawah 4. Wilkinson (1975) menyatakan bahwa bakteri dapat tumbuh dengan baik pada pH sedikit basa, sedangkan alga dan jamur tumbuh dengan baik pada pH sedikit asam. Berdasarkan penelitian Randall (1972) menunjukkan bahwa sistem filamen melekat dapat memetabolisme bahan organik secara efisien dibawah pH 2.65. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sistem sejenis dapat beroperasi secara efisien pada pH diatas 9 (Kato and Sekikawa, 1967).

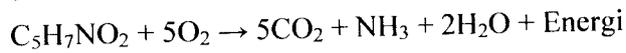
### 2.3 Pengolahan Limbah Secara Aerobik

Proses pengolahan secara aerob didefinisikan sebagai pengelolaan dengan kondisi ada oksigen, tempat dimana mikroorganisme akan menguraikan air limbah. Dengan penyediaan udara yang cukup dan keadaan lingkungan yang seimbang maka air limbah yang mengandung bahan organik akan diuraikan oleh mikroorganisme aerob menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan sel-sel baru dalam keadaan ada oksigen: penguraian ini terjadi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Oksidasi sebagian limbah menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel serta pembentukan serat-serat sel baru.  
 $CHONS + O_2 + \text{bakteri aerob} \rightarrow CO_2 + H_2O + NH_3 + \text{Produk akhir lain} + \text{Energi}$
2. Sebagian limbah diubah menjadi jaringan sel baru dengan mempergunakan sebagian energi yang dilepaskan selama oksidasi.



3. Sel-sel baru akhirnya memakan selnya sendiri untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel.



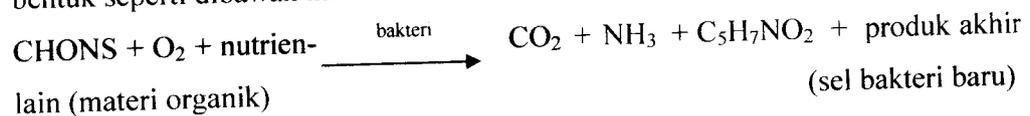
Penguraian dilakukan oleh sejumlah bakteri. Proses metabolisme oleh bakteri dipengaruhi oleh faktor sumber nutrisi dan oksigen. Kedua faktor ini saling berkaitan didalam membantu pertumbuhan bakteri. Selama sumber nutrisi cukup dan oksigen tidak berkurang maka bakteri akan berkembang dengan baik dan akan menghasilkan energi yang cukup untuk menguraikan senyawa organik. Proses aerobik pada dasarnya merupakan proses yang terjadi karena aktivitas mikroba dilakukan pada saat terdapat oksigen bebas. Proses biologis secara aerobik berarti proses dimana terdapat oksigen terlarut. Oksidasi bahan organik menggunakan molekul oksigen sebagai aseptor elektron akhir adalah proses utama yang menghasilkan energi kimia untuk mikroorganisme dalam proses ini. Mikroba yang menggunakan oksigen sebagai aseptor elektron akhir adalah mikroorganisme aerobik. Beberapa pengolahan limbah cair secara aerobik adalah lumpur aktif, trickling filter, kolam oksidasi, lagoon aerasi dan parit oksidasi (Jenie, B.S.L, 1995).

Senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair dapat dipecahkan oleh mikroorganisme aerobik menjadi senyawa-senyawa yang tidak mencemari, dimana pemecahan ini berlangsung dalam suasana aerobik atau ada oksigen. Reaksi yang terjadi pada proses aerob sebagai berikut :



Pada temperatur 37° C dan pH antara 6,5-8,5 proses berjalan dengan baik dan setiap kenaikan sebesar 10° C menyebabkan kecepatan bereaksi akan berlipat. (Mahida, 1993).

Urutan mekanisme pengolahan aerobik air buangan dapat dinyatakan dalam bentuk seperti dibawah ini :



Kecepatan reaksi suatu oksidasi aerobik tidak dapat diubah sedemikian besar, namun dengan menyediakan populasi mikroorganisme yang banyak dalam bentuk "slime" atau lumpur biologi (*biostludge*) maka akan memungkinkan untuk mencapai kecepatan pemisahan material-material organik dari larutan yang lebih besar. Adanya jumlah mikroba yang lebih besar memberikan kesempatan berlangsungnya adsorpsi awal terhadap koloidal dan organik-organik terlarut disertai dengan sintesis sel-sel baru sehingga setelah waktu kontak yang relatif pendek sisa kandungan zat organik dalam larutan tersebut tinggal sedikit. Material organik yang teradsorpsi kemudian dioksidasi menjadi produk akhir sebagaimana lazimnya dalam proses aerobik.

## **2.4 Pertumbuhan Bakteri Secara Melekat Pada Reaktor**

Pada prinsipnya proses biologis yang digunakan pada pengolahan limbah dibagi kedalam dua kategori, yaitu proses pertumbuhan tersuspensi (*Suspended Growth*) dan pertumbuhan melekat (*Attached Growth*). Contoh aplikasi proses pengolahan biologis *Suspended Growth* pada kondisi aerob adalah *Activated Sludge*, *Aerated Lagoons*, *Aerobic Digestion*. Sedangkan contoh aplikasi pada proses pengolahan biologis *Attached Growth* meliputi *Trickling Filter*, *Rotating Biological Contactor (RBC)*, *Packed-bed Reactors*.

### **2.4.1 Proses *Suspended Growth***

Proses *Suspended Growth* adalah proses pengolahan limbah secara biologis dimana mikroorganisme yang bertugas melakukan konversi (mengubah) bahan organik atau unsur lain pada air limbah kedalam bentuk gas dan jaringan sel tumbuh tersuspensi pada fase cair (Metcalf and Eddy, 2003).

Pada proses *Suspended Growth* mikroorganisme yang bertugas dalam mengolah limbah dipelihara pada suspensi cairan dengan melakukan metode pengadukan yang tepat. Beberapa proses *Suspended Growth* yang digunakan pada pengolahan limbah domestik dan industri beroperasi pada keadaan positif terdapat konsentrasi *Dissolved Oxygen* (aerobik), akan tetapi reaktor yang menggunakan proses *Suspended Growth* anaerobik (tidak ada oksigen) juga masih tetap

digunakan, contohnya pada pengolahan limbah industri yang memiliki konsentrasi organik tinggi dan lumpur organik.

#### 2.4.2 Proses *Attached Growth*

Proses *Attached Growth* adalah proses pengolahan limbah secara biologis dimana mikroorganisme yang bertugas melakukan konversi (mengubah) bahan organik atau unsur lain pada air limbah kedalam bentuk gas dan jaringan sel tumbuh melekat pada beberapa media inert, seperti batu, keramik atau material plastik. Proses pengolahan *Attached Growth* dikenal juga dengan istilah proses *Fixed Film* cair (Metcalf and Eddy, 2003).

Proses *Attached Growth* adalah proses pengolahan limbah secara biologis mikroorganisme yang bertugas mengubah bahan organik atau nutrien menempel pada material inert. Bahan organik atau nutrien dihilangkan dari air limbah ketika melewati *biofilm*. Material yang digunakan pada proses *Attached Growth* meliputi batu, kerikil, pasir, *redwood*, plastik dan material sintesis lainnya. Proses *Attached Growth* dapat dioperasikan pada kondisi aerob maupun anaerob. Material tempat tumbuh mikroorganisme dapat terendam sepenuhnya pada cairan maupun terendam sebagian (Metcalf and Eddy, 2003).

Pada proses *Attached Growth* memerlukan media untuk menempel, tumbuh dan berkembang. Proses biologis pada pertumbuhan melekat sebagian besar berhubungan dengan komposisi lapisan slime atau *biofilm*, yang menempel pada permukaan media. Proses pembentukan dan kolonisasi *biofilm* diawali dengan produksi slime dan kapsul bakteri yang menempel pada permukaan media. Penempelan pada awalnya terjadi karena ikatan kimia dan gaya Van Der Waals. Proses penempelan berlangsung sangat cepat dan bakteri *Z. Ramigera* adalah seringkali sebagai pembentuk koloni awal. Pembentukan koloni oleh bakteri heterotrop lain seperti *pseudomonas*, *flavobacterium* dan *alcaligenes* juga berjalan cepat. Setelah lima hari, komposisi pada *biofilm* akan terdiri dari bermacam-macam kumpulan bakteri, jenis-jenis filamen yang dominan. Setelah periode waktu lebih dari satu minggu, akan ditumbuhi sedikit jamur seperti *fusarium*, *geotrichum* dan *sporotrichum* akan tampak, yang akan ikut berperan dalam penurunan kandungan COD dalam air. Lapisan *biofilm* yang sudah matang atau

sempurna akan tersusun dalam tiga lapisan kelompok bakteri : lapisan paling luar adalah sebagian besar berupa jamur, lapisan tengah adalah jamur dan algae; dan lapisan paling dalam adalah bakteri, jamur dan algae. (Slamet dan Masduqi, 2000).

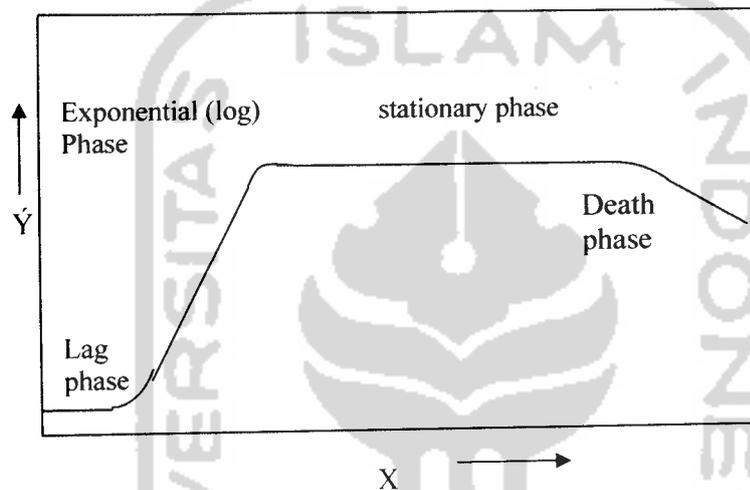
Pada penelitian ini, pola pertumbuhan bakteri pada reaktor berupa *Attached Growth* pada kondisi aerob. Media yang digunakan sebagai tempat tumbuh bakteri ialah media *Styrofoam*, sedangkan untuk suplai oksigennya diperoleh dari *buble aerator*. Proses pengolahan biologis *Attached Growth* pada penelitian ini digunakan untuk menghilangkan bahan organik yang ada pada limbah domestik. Material yang ada pada air limbah akan didegradasi oleh populasi mikroorganisme yang melekat pada media. Material organik dari air limbah teradsorpsi kedalam lapisan biologis atau yang dikenal dengan istilah *slime layer* atau *biofilm*. Pada lapisan terluar dari *slime layer* (0.1-0.2 mm), material organik didegradasi oleh mikroorganisme aerobik. Seiring dengan pertumbuhan mikroorganisme, ketebalan *slime layer* bertambah dan difusi oksigen dikonsumsi sebelum dapat mencapai lapisan *slime layer* paling dalam. Oleh karena itu, kondisi anaerobik terbentuk disekitar permukaan media.

Ketika ketebalan dari *slime layer* terus meningkat, bahan organik yang teradsorpsi dimetabolisme sebelum bahan organik tersebut mencapai mikroorganisme yang berada didekat permukaan media. Akibatnya tidak tersedia sumber organik eksternal, mikroorganisme tersebut memasuki fase *endogenous phase* atau *death phase* dan kehilangan kemampuan untuk melekat pada permukaan media. Kemudian limbah yang masuk akan dapat mengikis lapisan *slime layer* dan akan terbentuk lapisan baru. Fenomena kehilangan lapisan *slime layer* ini disebut *Sloughing* (Metcalf and Eddy, 2003).

Ketebalan *biofilm* tergantung pada jumlah material organik dan oksigen yang tersedia untuk pertumbuhan mikroorganisme. Ketebalan biofilm memiliki keterbatasan sampai nutrisi mampu menjangkau mikroorganisme yang terletak pada lapisan yang paling dalam. Pada saat tertentu ketebalan biofilm akan mencapai ketebalan maksimum dimana pada kondisi ini, sumber makanan dan nutrisi tidak mampu berdifusi sampai ke lapisan paling dalam. Akibat terhentinya

suplai makanan maka mikroorganisme pada lapisan bagian dalam akan mengalami respirasi endogenus dengan memanfaatkan sitoplasmanya untuk mempertahankan hidup. Pada kondisi seperti ini mikroorganisme akan kehilangan kemampuan untuk menempel pada media, kemudian terlepas dan terbawa keluar (Slamet dan Masduqi, 2000).

Populasi bakteri pada reaktor tumbuh mengikuti suatu pola pertumbuhan. Pola pertumbuhan bakteri ini digolongkan berdasarkan fase-fase seperti yang diilustrasikan pada kurva dibawah ini.



Keterangan :  
 $\dot{Y}$  = Konsentrasi biomassa  
X = Waktu

Sumber : Prescott, 1999

Gambar 2.2 Kurva Pertumbuhan Mikroba pada Sistem Tertutup

1. *Lag Phase*  
Pada fase ini bakteri memerlukan waktu untuk aklimatisasi terhadap kondisi lingkungan dan selanjutnya mulai membelah diri.
2. *Exponential-growth Phase*  
Bakteri mengalami pertumbuhan dengan pembelahan yang ditentukan oleh umur untuk mencapai pembelahan serta kemampuan untuk memproses makanan.
3. *Stationary Phase*

Jumlah bakteri relatif tetap, disebabkan oleh karena keterbatasan substrat dan nutrisi, serta adanya bakteri yang mati.

#### 4. *Death Phase*

Jumlah bakteri yang mati relatif banyak secara logaritmik daripada pertumbuhannya.

### 2.5 **Media Styrofoam**

*Styrofoam* merupakan bahan sintesis yang tahan terhadap reaksi kimia tertentu seperti pembusukan, terbuat dari *kopolimer polistiren* yang terdiri dari monomer *stiren* yang bersifat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker) dan berpengaruh pada sistem saraf pusat. Sedangkan *stiren* sendiri merupakan salah satu produk sampingan minyak bumi. (Winarno, 2000).

*Stiren* pertama kali diproduksi secara komersial pada tahun 1930-an dan berperan penting selama Perang Dunia II dalam pembuatan karet sintetik. Sekarang peranan *stiren* telah bergeser dalam pembuatan produk *polistiren* komersial, salah satunya adalah wadah makanan dan minuman. Bentuk kemasan *polistiren* yang umum dikenal adalah *styrofoam* yang dipatenkan oleh perusahaan Dow Chemical.

Molekul *stiren* secara alami memang berada di atmosfer, dan diperkirakan mencapai 1 mikrogram per satu meter kubik. Setiap orang diperkirakan menghirup udara sebanyak 15 meter kubik sehari, sehingga *stiren* yang terisap mencapai 15 mikrogram (Anonim, 2000).

*Styrofoam* yang dibuat dari *kopolimer styren* ini telah menjadi salah satu pilihan yang paling populer dalam bisnis pangan karena mampu mencegah kebocoran dan tetap mempertahankan bentuknya saat dipegang. Selain itu, bahan tersebut juga mampu mempertahankan panas dan dingin tetapi tetap nyaman dipegang, mempertahankan kesegaran dan keutuhan bahan yang dikemas, biaya murah, lebih aman, serta ringan

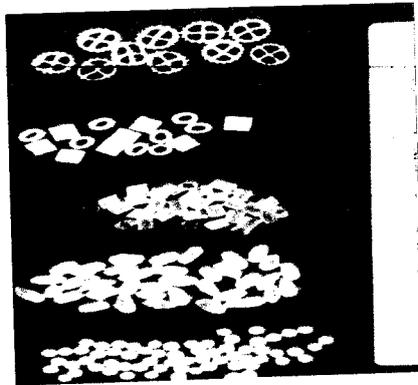
Residu *styrofoam* dalam makanan sangat berbahaya. Residu itu dapat menyebabkan *Endocrine Disruption Chemical (EDC)*, yaitu suatu penyakit yang terjadi akibat adanya gangguan pada sistem endokrinologi dan reproduksi

manusia akibat bahan kimia karsinogen dalam makanan. Suhu tinggi merupakan faktor eksternal terpenting bagi migrasi molekul plastik untuk larut ke dalam makanan/minuman. Semakin tinggi suhu, maka kecepatan perpindahan komponen plastik akan semakin besar (Anonim, 2001).

Dari segi sanitasi, wadah kemasan *styrofoam* untuk makanan secara higienis diterima dengan baik oleh FDA (Administrasi Pengawasan Makanan dan Obat-obatan Amerika Serikat) karena sekali pakai lalu dibuang. Sedang dari segi keamanan lingkungan, *styrofoam* yang semula dibuat dari bahan yang mengandung *chlor fluorocarbon* (CFC), kini telah diganti dengan bahan yang lebih ramah lingkungan, karena CFC terbukti membahayakan lapisan ozon di atmosfer (Anonim, 2000).

Sampah berupa plastik busa (*styrofoam*) mengandung karbon murni (*pure carbon*) dengan kadar yang sangat tinggi (hitam pekat dan mengkilat). Karbon ini dapat dimanfaatkan untuk pewarna (pigment) cat kayu, cat papan tulis, tinta cetak, tinta sablon, tinta komputer dan tinta fotokopi (*toner*). Pengolahan terhadap *styrofoam* telah dicoba (dengan eksperimen selama dua tahun) dan terbukti bagus dalam menghasilkan *vernish*, cat, dan dempul kayu serta cat papan tulis. Tetapi untuk *toner* sampai saat ini belum dicapai hasil yang memuaskan (baru sekitar 50%) (Anonim, 2006).

*Styrofoam* merupakan media dengan densitas rendah yang merupakan bagian dari *Static Low Density Media* yang juga dikenal dengan *Floating bead filters* (FBFs) atau *Floating Bead Bioclarifier* (FBBs). Media plastic berdensitas rendah dapat dilihat seperti Gambar 2.3 dibawah ini.

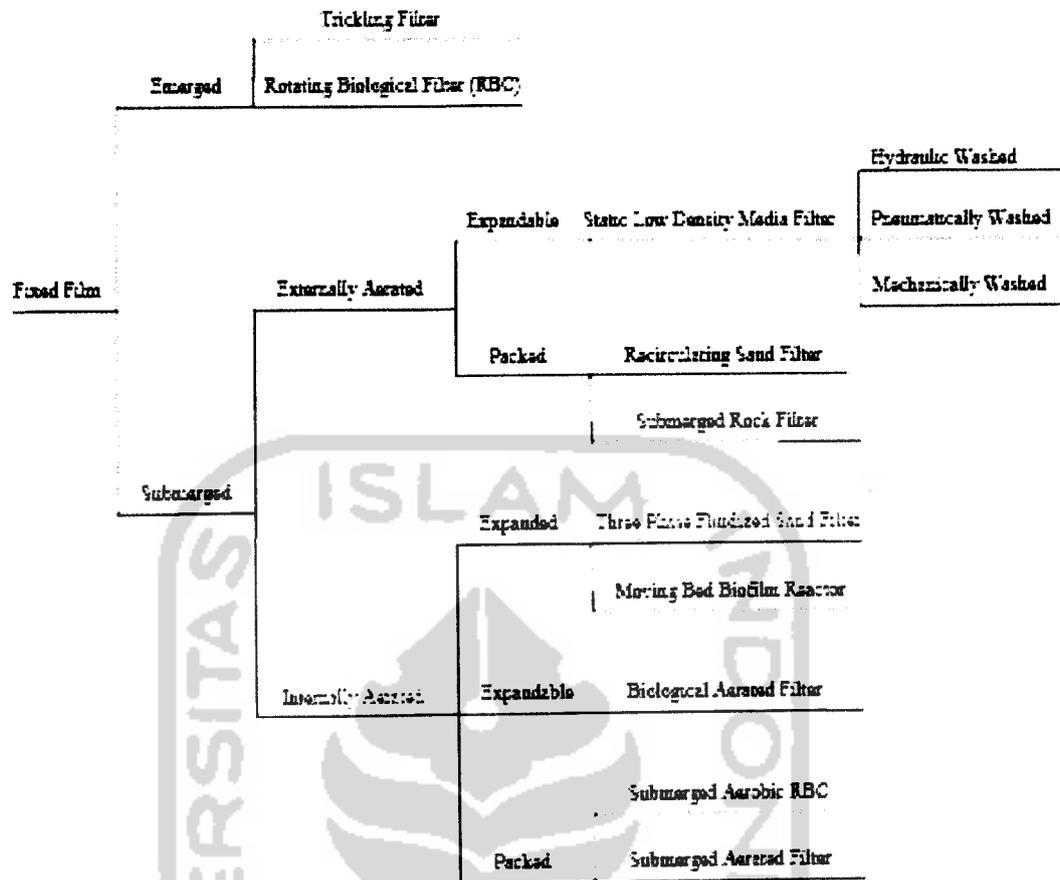


*Various shapes of plastic media have been tested in SLDM Filters in the past. From top to bottom: KMT-type, large tubes, smaller tubes, Enhanced Nitrification (EN) modified, and spheres.*

Sumber: Cynthia, 2003

Gambar 2.3 Macam-macam Bentuk Media Plastik Sebagai *Low Density Media*

Penelitian dan perkembangan terhadap *fixed film*, terutama proses biologi *fixed film* telah berkembang dengan cepat dalam dua dekade terakhir. Klasifikasi jenis proses *fixed film* dapat dibuat berdasarkan variasi karakteristik seperti submergence, teknik aerasi, keadaan ekspansi media, yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Classification of various major aerobic fixed film processes used in wastewater treatment.

Sumber: Cynthia, 2003.

Gambar 2.4 Klasifikasi Proses *Fixed Film* Dalam Pengolahan Limbah

Proses *fixed film* dapat direncanakan dengan mengklasifikasi keadaan fisik dari media, antara lain dengan *ekspanded*, *ekspandable*, atau *packed*. Melalui fluidisasi media, keadaan ekspansi dapat tercapai. Variasi media butiran dapat digunakan pada *bioclarifiers*, selain itu juga penambahan media juga dapat berasal dari variasi plastic. Media terapung (*Floating media*) dapat juga digunakan untuk meremoval COD dan Amonia serta TSS (Cynthia, 2003).