

## BAB 11

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Limbah Cair

Secara umum beberapa pengertian limbah cair yang dikemukakan oleh para ahli antara lain sebagai berikut:

- a. Salvato (1982) : air limbah (*waste water*) adalah air bekas dari masyarakat, rumah tangga, dan berasal dari industri serta buangan lainnya.
- b. Tchobanoglaus (1972) : air limbah adalah air yang berasal dari air bersih masyarakat sesudah dicemari berbagai macam penggunaannya.
- c. Metcalf dan Eddy (1991) menyebutkan sebagai berikut : air limbah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang berasal dari pemukiman, perkantoran, dan industri.
- d. PP / 81 / / 2001 : Air limbah adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair.

#### 2.2 Sumber Air Limbah

Menurut Bell (1977) sumber limbah cair berasal:

1. Air limbah domestik, berasal dari rumah tangga, perkantoran, pusat perdagangan, rumah sakit dan mengandung berbagai bahan antara lain: kotoran, urine dan air bekas cucian yang mengandung detergen, bakteri dan virus.
2. Air limbah industri, berasal dari industri dan manufaktur dan pada limbah ini banyak mengandung bahan pelarut, mineral, logam berat, zat pewarna, nitrogen, sulfida, fospat, dan zat lain yang bersifat toxic.
3. Air limbah dari daerah pertanian, banyak mengandung kotoran hewan, herbisida dan pestisida.

### 2.3 Komposisi Air Buangan Domestik

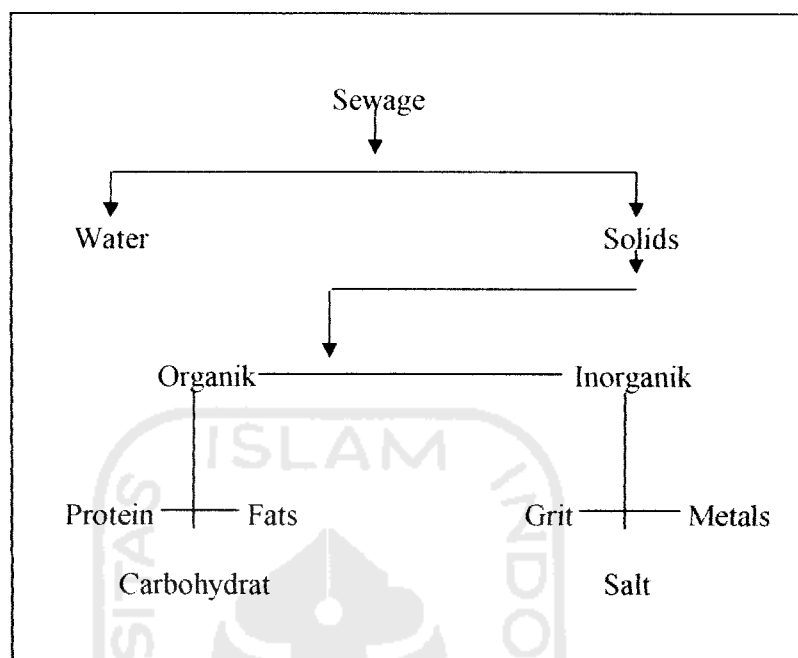
Air Buangan Domestik adalah semua limbah yang berasal dari kamar mandi, WC, dapur, tempat cuci pakaian, apotik, rumah sakit, dan sebagainya. secara kuantitatif limbah tadi terdiri atas zat organik, baik padat ataupun cair, bahan berbahaya dan beracun (B3), garam terlarut, lemak dan bakteri.

Air buangan domestik merupakan 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). Air buangan ini juga mengandung unsur-unsur hara, sehingga dengan demikian merupakan wadah yang baik sekali untuk pembiakan mikroorganisme.

Pada penelitian ini sumber air baku yang digunakan ialah berasal dari air buangan domestik, yang diambil dari septic tank FTSP, kampus terpadu UII. Adapun definisi air buangan itu sendiri ialah air bekas yang tidak dapat dipergunakan lagi untuk tujuan semula baik yang mengandung kotoran manusia (tinja) atau dari aktifitas kamar mandi, dapur dan mencuci dimana kuantitasnya antara 50 % - 70 % dari rata - rata pemakaian air bersih (120 - 140 liter/orang/hari). Karena persentase air buangan yang cukup besar dari pemakaian air bersih dapat dipastikan air buangan domestik mengandung lebih dari 90 % cairan.

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 %). (Metcalf & Eddy, 2003). Konsentrasi bahan organik ini dapat dinyatakan sebagai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TOC (*Total Organic Carbon*) ataupun ThOD (*Theoretical Oxygen Demand*).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini :



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

**Gambar 2.1** Komposisi Air Buangan Domestik

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. Unsur-unsur pokok tersebut bervariasi tiap jam dalam sehari, tiap hari dalam seminggu, tiap bulan dalam setahun dan kondisi lokal lainnya.

**Tabel 2.1 Tipikal Komposisi Limbah Domestik**

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi Rendah	Konsentrasi Medium	Konsentrasi 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
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, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, hal 186

## 2.4 Karakteristik Air Limbah

Sifat-sifat yang dimiliki oleh air limbah domestik dibagi menjadi 3 yaitu: sifat fisik, kimia dan biologis.

### ➤ 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.

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik yang penting adalah bau, jumlah zat padat terlarut (TDS), kekeruhan, rasa, suhu dan warna.

Penentuan derajat kekotoran air limbah sangat dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat, Parameter yang sangat tergolong dalam sifat ini meliputi kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau, warna dan temperatur.

*Bau* pada air mempunyai standar kualitas harus bebas dari bau atau tidak berbau. Adanya bau disebabkan oleh bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta senyawa kimia lain seperti phenol dan jika air berbau maka akan mengganggu estetika. (Sanropie, dkk, 1984)

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.

*Warna* jika berada dalam air terlihat dengan jelas akan mengurangi penetrasi sinar / cahaya ke dalam air, sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis dan akan mengganggu aktivitas biologi yang ada didalamnya. Pada kenyataannya pencemaran oleh zat warna juga dapat menyebabkan

*Temperatur* air pada air diharapkan adalah antara 10-15°C, bila melebihi dari kadar tersebut maka akan mengakibatkan meningkatnya daya toksisitas bahan kimia atau bahan pencemar dalam air dan akan meningkatkan pertumbuhan mikrobiologi dalam air.

Secara fisik sifat-sifat air buangan domestik dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 2.2 Sifat Fisik dari 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)

#### ➤ 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).

Bahan kimia penting yang terdapat dalam air limbah pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Bahan Organik

Pada umumnya zat organik beisikan kombinasi dari karbon, nitrogen, dan oksigen, bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting seperti belerang, fosfor, dan besi juga terdapat didalamnya. Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik semakin meningkat hal ini menyebabkan sulit dalam mengolah air limbah karena beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme.

#### 2. Bahan Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum. Jumlah bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologis dari asal air atau air limbah. Bahan anorganik meliputi pH, klorida, kebasaan, sulfur, zat beracun, logam berat, metan, nitrogen, fosfor, gas (Sugiarto, 1985).

#### ➤ 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. Selain itu protozoa dapat mengurangi bahan organik yang tidak dapat di metabolisme oleh bakteri ataupun jamur dan membantu menghasilkan effluen yang lebih baik.

Kebanyakan bakteri, baik dalam biakan murni maupun dalam kultur campuran seperti dalam bioreaktor air limbah, memiliki rentan pH untuk pertumbuhan antara 4 – 9. Secara umum pH optimum untuk pertumbuhan mikroba pada rentang 6.5 – 7.5. (Benefield (1980), menyarankan bahwa mikroba tumbuh dengan baik pada pH sedikit basa, sementara algae dan fungi tumbuh dengan baik pada kondisi pH sedikit asam. Dalam proses pengolahan air limbah secara biologis pH optimum untuk pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh karakteristik air limbah yang diolah.

## 2.5 Jenis - Jenis Pengolahan Limbah

Berdasarkan karakteristik limbah, proses pengolahan dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu fisika, kimia, dan biologi.

### a. Proses Fisika

Perlakuan terhadap air limbah dengan cara fisika, yaitu proses pengolahan secara mekanis dengan atau tanpa penambahan kimia. Proses - proses tersebut diantaranya adalah penyaringan, penghancuran, perataan air, penggumpalan, sedimentasi, pengapungan dan filtrasi.

### b. Proses Kimia

Proses pengolahan secara kimia menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar di dalam limbah. Dengan adanya bahan kimia berarti akan terbentuk unsur baru dalam air limbah, yang mungkin berfungsi sebagai *katalisator*. Kegiatan yang termasuk dalam proses kimia diantaranya adalah



pengendapan, klorinasi, oksidasi dan reduksi, netralisasi, ion exchanger dan desinfektan.

#### c. Proses Biologi

Proses pengolahan limbah secara biologis adalah memanfaatkan *mikroorganisme* (ganggang, bakteri, protozoa) untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana dan dengan demikian mudah mengambilnya. Pengolahan ini terutama digunakan untuk menghilangkan bahan organik yang biodegradable dalam air buangan. Pengolahan biologis dapat dibedakan menurut pemakaian oksigennya, menjadi proses aerobik, anaerobic dan Fakultatif.

### 2.6 Proses Pertumbuhan Mikroba Terlekat

Proses pengolahan air limbah secara biologi dengan pola pertumbuhan mikroba terlekat 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 BOD 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, 2002).

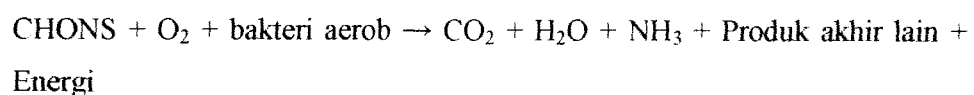
Ketika air limbah melintasi pada permukaan biofilm, material organik dalam air limbah bersama-sama dengan oksigen dan nutrisi, akan terdifusi kedalam biofilm dan teroksidasi oleh mikroorganisme heterotrop. Proses oksidasi oleh bakteri heterotrop ditujukan untuk mendapatkan energi dan senyawa-senyawa baru untuk pembentukan sel baru.

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 dari sistem biofilter bersama dengan aliran air, mekanisme pengelupasan ini dikenal sebagai "*Sloughing*". (Slamet dan Masduqi, 2002).

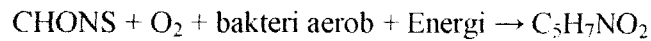
## 2.7 Pengolahan Limbah Secara Aerobik

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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan sel-sel baru dalam keadaan ada oksigen: penguraian ini terjadi dalam tiga tahap, yaitu:

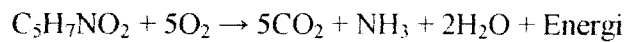
1. Oksidasi sebagian limbah menjadi produk akhir untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel serta pembentukan serat-serat sel baru.



2. Sebagian limbah diubah menjadi jaringan sel baru dengan mempergunakan sebagian energi yang dilepaskan selama oksidasi.



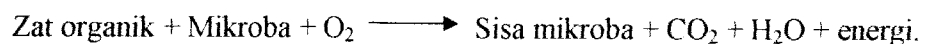
3. Sel-sel baru akhirnya memakan selnya sendiri untuk mendapatkan energi guna pemeliharaan sel.



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.

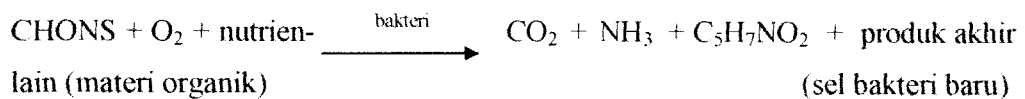
Proses aerobik pada dasarnya merupakan proses yang terjadi karena aktivitas mikroba dilakukan pada saat terdapat oksigen bebas. Proses biologis secara aerobik berarti proses dimana terdapat oksigen terlarut. Oksidasi bahan organik menggunakan molekul oksigen sebagai aseptor elektron akhir adalah proses 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, 1993).

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, 1986).

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 (*biosludge*) 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 terabsorpsi kemudian dioksidasi menjadi produk akhir sebagaimana lazimnya dalam proses aerobik.

## 2.8 Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan parameter sebagai berikut:

### Total Suspended Solid (TSS)

Padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid ) adalah bahan-bahan tersuspensi ( Diameter  $>1\mu\text{m}$  ) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori  $0,45\mu\text{m}$ . Terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad renik.

TSS ( Total Suspended Solid ) merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. Misalnya, Air permukaan mengandung tanah liat dalam bentuk suspensi yang dapat bertahan sampai berbulan-bulan, kecuali jika keseimbangannya terganggu oleh zat-zat lain, sehingga mengakibatkan terjadinya penggumpalan yang kemudian diikuti dengan pengendapan. (Fardiaz,1992).

Pada limbah domestik banyak mengandung Total Suspended solid (TSS). Dengan adanya TSS tersebut akan mempengaruhi keseimbangan pada badan air. Konsentrasi yang tinggi pada badan air dapat menyebabkan banyak masalah untuk kesehatan dan ekosistem akuatik.

TSS yang tinggi menghalangi masuknya sinar matahari kedalam air, sehingga akan mengganggu proses fotosintesis menyebabkan turunnya oksigen terlarut yang dilepas kedalam air oleh tanaman. Jika sinar matahari terhalansi dari dasar tanaman maka tanaman akan berhenti memproduksi oksigen dan akan mati. TSS juga menyebabkan penurunan kejernihan dalam air, hal ini mempengaruhi kemampuan ikan untuk melihat dan menangkap makanan. Endapan tersuspensi dapat juga menyumbat insang ikan, mengurangi pertumbuhan rata-rata, menurunkan ketahanan terhadap penyakit dan mencegah telur dan larva berkembang. Ketika TSS tenang didasar badan air dapat menyebabkan menyembunyikan telur. (Murphy dari Mitchell and Stapp, 1992).

Kekeruhan air disebabkan oleh zat padat yang tersuspensi, baik yang bersifat anorganik maupun yang organik. Zat anorganik, biasanya berasal dari lapukan batuan dan logam, sedangkan zat organik dapat berasal dari lapukan tanaman atau hewan. Zat organik dapat menjadi makanan bakteri, sehingga mendukung perkembangbiakannya.

Jumlah padatan tersuspensi dalam air dapat diukur dengan Turbidimeter. Seperti halnya padatan terendap, padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen serta fotosintesis.

Materi yang tersuspensi adalah materi yang mempunyai ukuran lebih besar daripada molekul/ion yang terlarut. Dalam air alam ditemui dua kelompok zat, yaitu zat terlarut seperti garam dan molekul organik, dan zat padat tersuspensi dan koloidal seperti tanah liat, kwarts. Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikel.

Analisa zat padat dalam air sangat penting bagi penentuan komponen-komponen air secara lengkap, juga untuk perencanaan serta pengawasan proses-proses pengolahan dalam bidang air minum maupun dalam bidang air buangan.

Zat-zat padat yang berada dalam suspensi dapat dibedakan menurut ukurannya sebagai partikel tersuspensi koloidal (partikel koloid) dan partikel tersuspensi biasa (partikel tersuspensi). Zat padat tersuspensi dapat mengendap apabila keadaan air cukup tenang, ataupun mengapung apabila sangat ringan, materi inipun dapat disaring. Koloid sebaliknya sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan saringan (filter) air biasa.

Seperti halnya ion-ion dan molekul-molekul (zat yang terlarut), zat padat koloidal dan zat padat tersuspensi dapat bersifat inorganik (tanah liat, kwarts) dan organik (protein, sisa makanan dan ganggang, bakteri). Dalam metode analisa zat padat, pengertian zat padat total adalah semua zat – zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Zat padat total terdiri dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi yang dapat bersifat organik dan inorganik seperti pada keterangan dibawah ini :

Zat padat total , terbagi menjadi dua :

- Zat padat terlarut
- Zat padat tersuspensi, terbagi menjadi dua :
  1. Zat padat tersuspensi Organik
  2. Zat padat tersuspensi Inorganik

Zat padat tersuspensi sendiri dapat diklarifikasikan sekali lagi antara lain zat padat terapung yang selalu bersifat organik dan zat padat terendap yang dapat bersifat organik dan inorganik. Zat padat terendap adalah zat padat dalam suspensi yang dalam keadaan tenang dapat mengendap setelah waktu tertentu karena pengaruh gaya beratnya.

Apabila jumlah materi tersuspensi ini banyak dan kemudian mengendap, maka pembentukan lumpur dapat sangat mengganggu aliran dalam saluran, pendangkalan cepat terjadi, sehingga diperlukan pengerukan lumpur yang lebih sering. apabila zat-zat ini sampai di muara sungai dan bereaksi dengan air yang asin, maka baik koloid maupun zat terlarut dapat mengendap di muara-muara dan proses inilah yang menyebabkan terbentuknya delta - delta.

## 2.9 Septik Tank

Pada tahun 1895 seseorang kelahiran dari negara Inggris bernama Donald Cameron lebih banyak mengoreksi penjelasan dari proses-proses yang terjadi di dalam septik tank. (Crites and Tchobanoglous, 1997). Setelah itu konfigurasi dari jenis tangki telah dikembangkan meskipun mengingat konsepnya tetap sama, yang pada dasarnya sebagai tempat untuk proses fisik, kimiawi dan biologis pada pengolahan air limbah.

Septik tank adalah tangki yang tertutup rapat untuk menampung aliran limbah yang melewatinya sehingga kandungan bahan padat dapat dipisahkan, diendapkan atau diuraikan oleh aktivitas bakteriologis didalam tangki. Fungsinya bukan untuk memurnikan air limbah tetapi untuk mencegah bau dan menghancurkan kandungan bahan padat. (Salvato, 1992).

Septik tank mempunyai beberapa fungsi diantaranya:

### 1. Sedimentasi

Fungsi yang paling pokok dari septik tank adalah kemampuannya mereduksi kandungan bahan padat terlarut (SS) pada limbah cair domestik.

### 2. Penyimpanan

Septik tank diharapkan menampung akumulasi endapan.

### 3. Penguraian

Penguraian lumpur oleh bakteri secara anaerobik merupakan akses dari lama waktu penyimpanan endapan dalam tangki. Bakteri akan menghasilkan oksigen yang akan terlarut jika ia mengurai bahan organik yang terkandung didalam limbah. Bakteri ini juga akan mengurai bahan organik kompleks dan mereduksinya menjadi selulosa dan menghasilkan gas meliputi  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$  dan  $CH_4$ .

### 4. Menahan laju aliran

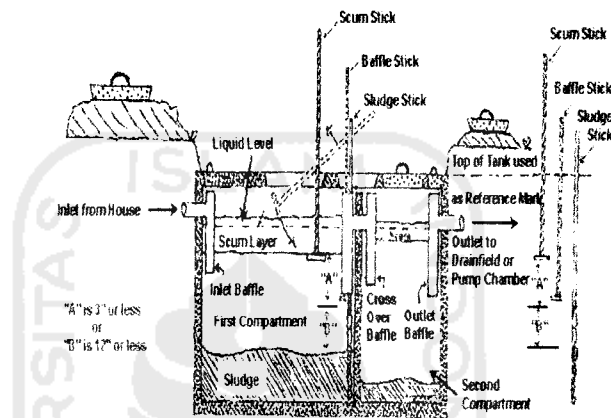
Septik tank akan mereduksi terjadinya beban aliran puncak. Proses utama yang terjadi didalam septik tank adalah:

1. Sedimentasi SS
2. Flotasi lemak dan material lain ke permukaan air
3. Terjadinya proses biofisik kimia di ruang lumpur.

**Tabel 2.3 Karakteristik Efluen Septik tank**

Komponen	Range konsentrasi	Tipikal konsentrasi
TSS	36–85 mg/L	60 mg/L
BOD <sub>5</sub>	118–189 mg/L	120 mg/L
pH	6,4–7,8	6,5
Fecal Coliform	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>7</sup> CFU / 100 m/L	10 <sup>6</sup> CFU / 100 mL

(Sumber : EPA, 2002)

**Gambar 2.2 septic tank**

Ditinjau dari segi kuantitasnya air buangan yang masuk ke dalam *septic tank* berupa Sullage (*Grey water*) yang berasal dari aktivitas pencucian, dapur, kamar mandi. **Black water** (*human body waste*) yang berasal dari feces dan urin.

Proses pengolahan pada septic tank adalah sedimentasi dan stabilisasi lumpur lewat proses anaerobik. Untuk jenis limbah yang diolah pada septic tank adalah limbah yang mengandung padatan terendapkan, khususnya limbah domestik.

Selama limbah ditahan dalam septic tank maka benda-benda padat akan mengendap didasar tangki, dimana benda-benda tersebut dirombak secara anaerobik. Lapisan tipis yang terbentuk di permukaan akan membantu memelihara kondisi anaerobik. Keluaran dari septic tank, dari sudut pandang kesehatan masyarakat sama bahayanya dengan air limbah segar sehingga memerlukan pengolahan lebih lanjut sebelum dibuang (Mara, 1978).



Waktu tinggal limbah pada septik tank berukuran besar tidak boleh kurang dari 12 jam. Detensi selama 24 hingga 72 jam direkomendasikan untuk septik tank berukuran besar. (Salvato, 1992).

**Tabel 2.4 Karakteristik efluen dari septik tank konvensional**

Parameter	Range	Rata-rata
COD,mg/l	165 - 1,487	296
COD filtered,mg/l	12 - 78	29
BOD,mg/l	50 - 440	165
TS,mg/l	236 - 1,383	599
TSS,mg/l	62 - 1.100	290
Alkalinity,mg/l as CaCO <sub>3</sub>	240-365	275
pH	7 - 7.7	7.3
TKN,mg/l	34-60	43
TP,mg/l	7-31	17
Faecal coliforms, MPN/100mL	$5 \times 10^4$ - $5.8 \times 10^5$	$4.3 \times 10^5$

(Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Sesuai dengan Kep/Men/LH/112/2003 tentang Baku Mutu Limbah Domestik, baku mutu air limbah domestik dalam keputusan ini hanya berlaku bagi :

- a. Semua kawasan permukiman (real estate), kawasan perkantoran, kawasan perniagaan dan apartemen.
- b. Rumah makan (restauran) yang luas bangunannya lebih dari 1000 m<sup>2</sup>.
- c. Asrama yang berpenghuni 100 orang atau lebih.

Menurut Kep MenLH 112/2003 Baku mutu air limbah domestik untuk perumahan yang diolah secara individu akan ditentukan sebagai berikut :

**Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/L	100
TSS	mg/L	100
Minyak dan lemak	mg/L	10

(Sumber : KepMenLH 112/2003)

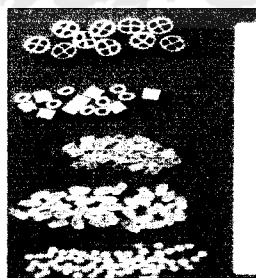
### 3.0 Media Styrofoam

*Styrofoam* sendiri, menurut Prof Winarno, dibuat dari *kopolimer polistiren* yang terdiri dari monomer stiren. Sedang stiren merupakan salah satu produk sampingan minyak bumi. 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.

Pakar teknologi pangan Institut Pertanian Bogor (IPB) Prof Dr FG Winarno membenarkan bahwa kemasan plastik yang mengandung PVC memang berisiko bagi kesehatan, karena diketahui bersifat karsinogenik dan jika terurai mengeluarkan dioksin yang berbahaya bagi tubuh. Namun, tentang kemasan *styrofoam* yang mengandung polistiren, Winarno menyatakan, masyarakat tak perlu khawatir. Berbagai penelitian internasional menunjukkan molekul monomer stiren dari kemasan *styrofoam* yang terlarut dalam air panas, tidak bersifat karsinogen dan tidak berakumulasi di dalam tubuh (Winarno, 2000). *Styrofoam* adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi dan tak bakal terurai selama 500 tahun..

*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 sebagai berikut:



*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.*

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

### 3.1 Pengolahan Limbah Menggunakan Reaktor *Aerocarbonbiofilter*

Pada penelitian ini akan menggunakan proses pengolahan secara aerob yaitu suatu pengolahan yang membutuhkan oksigen dimana terdapat mikroorganisme yang berfungsi untuk melakukan dekomposisi/menguraikan air limbah.

#### 3.1.1 Aerasi

##### a) Proses Aerasi

Aerasi adalah suatu bentuk perpindahan molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada *gas-liquid interface*. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (*interface*), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut.

Adapun aerasi bertujuan (Agustjik, 1991) :

- 1). Mengurangi *teste* dan *odor*
- 2). Mengurangi tingkat korosif air ( $\text{CO}_2$ )
- 3). Menghilangkan gas-gas terlarut yang tidak dikehendaki ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , dan VOC).
- 4). Oksidasi senyawa-senyawa terlarut dalam air (Fe, Mn dll).
- 5). Penambahan jumlah oksigen
- 6). Penurunan jumlah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )
- 7). Menghilangkan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

Salah satu kegunaan dari aerasi pada pengolahan air limbah adalah memberikan suplai oksigen pada proses pengolahan biologi secara aerobik. Pengaruh lamanya waktu pada proses oksidasi akan mempengaruhi kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasikan bahan organik yang terdapat dalam air buangan. Semakin lamanya waktu yang diberikan pada proses oksidasi maka akan memberi kesempatan bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan degradasi bahan organik. (Droste, Ronald L, 1997).

### **b) Mekanisme Transfer gas yaitu:**

Gas-gas yang terlarut didalam bahan cair akan mencari kondisi *equilibrium* atau seimbang. Konsentrasi gas yang terlarut didalam bahan cair pada keadaan seimbang disebut nilai penjuhan. Nilai penjuhan gas bergantung pada temperatur bahan cair, tekanan gas sebagian dan konsentrasi bahan-bahan padat yang terlarut pada bahan cair. nilai penjuhan secara langsung seimbang dengan tekanan sebagian dan secara terbalik seimbang dengan temperatur dan konsentrasi bahan-bahan padat terlarut.

Perbedaan antara nilai penjuhan dan konsentrasi aktual memberikan kekuatan dorong untuk pertukaran gas-gas dari sifat gas menjadi sifat terlarut dan demikian pula sebaliknya. Tingkat pertukaran secara langsung seimbang dengan perbedaan antara konsentrasi aktual dan nilai penjuhan.

Pengambilan zat pencemar yang terkandung didalam air merupakan pengolahan didalam air. Pemanbahan oksigen adalah salah satu uasaha dari pengambilan zat pencemar tersebut, sehingga konsentrasi zat pecemar akan berkurang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali. Zat yang diambil dapat berupa gas, cairan, ion, koloid atau bahan tercampur.

### **c) Jenis-jenis aerasi**

#### *1. Gravity aerator*

*Gravity aerator* menggunakan bendungan (*weirs*), air terjun (*water falls*), air terjun kecil (*cascades*), bidang miring dengan piringan penderas, menara vertikal dengan udara yang naik, menara piringan yang dilubangi (*perporated filled towers*), atau *towers filled* dengan media kontak seperti coke atau batu (*stone*), diantaranya :

##### **a. Multiple Tray Aerator**

Aerator ini perlengkapannya sangat sederhana dan persiapannya tidak mahal serta menempati ruang yang sangat sempit. Tipe ini terdiri dari 4-8 tray dengan lubang dibagian bawah pada interval 30-50 cm. Lubang air dibuat sama dengan tray yang di atasnya, dan aliran kebawahnya rata-rata sekitar 0,02 m<sup>3</sup>/detik. Air diterjunkan dan dikumpulkan lagi pada tiap-tiap tray. Tray dapat dibuat dari

beberapa bahan yang sesuai seperti papan asbes yang berlubang-lubang, pipa-pipa plastik dengan diameter kecil atau bilah-bilah kayu yang disusun paralel.

b. Cascade Aerator

Aerator ini terdiri dari 4-6 anak tangga, ketinggian masing – masing sekitar 10 cm dengan kapasitas 0.01 m<sup>3</sup>/detik. Untuk turbelansi dan meningkatkan efisiensi aerasi, rintangan – rintangan sering kali ditempatkan pada ujung tiap anak tangga. Dibandingkan dengan tray aerator memerlukan ruang yang lebih luas tetapi mempunyai headloss lebih rendah.

c. Multiple Platform Aerator

Aerator ini menggunakan prinsip yang sama dengan cascade aerator. Piringan berlapis (platform) untuk terjunan air dibuat terbuka sehingga air dapat kontak dengan udara.

2. *Spay Aerator*

Merupakan aerasi yang dapat menghasilkan semprotan air, sehingga yang jatuh keluar akan berupa butiran – butiran. Hal ini sangat menguntungkan karena air yang dihasilkan semakin kecil, karena dengan butiran yang kecil kepermukaan air yang kontak langsung dengan udara semakin luas.

3. *Diffused – Air Aerator*

Tipe ini terdiri dari sebuah basin dengan pipa – pipa perlokasi, tabung – tabung porous yang di gunakan untuk memompakan udara yang akan dilewatkan ke air, sehingga air tersebut teraerasikan. Tingkat terjadinya gelembun – gelembung itu banyak di pengaruhi oleh spray aerator, tetapi meskipun demikian udara harus di tekan diatas tekanan kedalam air dimana diffuse itu ditetapkan.

4. *Mechanical Aerator*

Aerator tipe ini terdiri dari sebuah propeller seperti daun pengaduk terpasang pada ujung – ujung sumbu vertical yang dikendalikan oleh sebuah

motor. Akibat putaran daun pengaduk yang cepat di dalam air, maka terjadi pencampuran antara udara dan air. Tipe – tipe aerator mekanik pada umumnya yaitu aerator permukaan (tipe air kedalam udara), aerator rendam ( tipe udara ke dalam air ), dan aerator kombinasi.

### 3.1.2 Adsorpsi

#### a) Proses Adsorpsi

Adsorpsi (penyerapan) adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap sehingga tidak mungkin terjadi proses yang bolak-balik (Tinsley, 1979).

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban, dimana adsorbat adalah substansi yang terjerap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon (Webar, 1972).

#### b) Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat kimia dan fisika (Reynolds, 1982).

Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).

4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben. (proses adsorpsi sebenarnya), (Reynolds, 1982).

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Proses adsorpsi dilakukan dalam suatu bak dengan sistem pengadukan, dimana penyerap yang biasanya berbentuk serbuk dibubuhkan, dicampur dan diaduk dengan air dalam suatu bangunan sehingga terjadi penolakan antara partikel penyerap dengan fluida.
2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penyerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada di dalam media penyerap (Reynold, 1982).

#### c) Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi;

1. Agitation (Pengadukan)  
Tingkat adsorpsi dikontrol baik oleh difusi film maupun difusi pori, tergantung pada tingkat pengadukan pada sistem.
2. Karakteristik Adsorban (Karbon Aktif)  
Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik penting karbon aktif sesuai dengan fungsinya sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi; tingkat adsorpsi naik dengan adanya penurunan ukuran partikel. Oleh karena itu adsorpsi menggunakan karbon PAC (*Powdered Activated Carbon*) lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan karbon GAC (*Granular Activated Carbon*).  
Kapasitas total adsorpsi karbon tergantung pada luas permukaannya. Ukuran partikel karbon tidak mempengaruhi luas permukaannya. Oleh sebab itu GAC atau PAC dengan berat yang sama memiliki kapasitas adsorpsi yang sama.

### 3. Kelarutan Adsorbat

Senyawa terlarut memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap pelarutnya sehingga lebih sulit diadsorbsi dibandingkan senyawa tidak larut.

### 4. Ukuran Molekul Adsorbat

Tingkat adsorbsi pada aliphatic, aldehyde, atau alkohol biasanya naik diikuti dengan kenaikan ukuran molekul. Hal ini dapat dijelaskan dengan kenyataan bahwa gaya tarik antara karbon dan molekul akan semakin besar ketika ukuran molekul semakin mendekati ukuran pori karbon. Tingkat adsorbsi tertinggi terjadi jika pori karbon cukup besar untuk dilewati oleh molekul.

### 5. pH

Asam organik lebih mudah teradsorbsi pada pH rendah, sedangkan adsorbsi basa organik efektif pada pH tinggi.

### 6. Temperatur

Tingkat adsorbsi naik diikuti dengan kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur (Benefield, 1982).

Menurut Dlouhy (1982) proses penjerapan dalam adsorpsi dipengaruhi

#### 1. Bahan penjerap

Bahan yang digunakan untuk menjerap mempunyai kemampuan berbeda-beda, tergantung dari bahan asal dan juga metode aktivasi yang digunakan.

#### 2. Ukuran butir

Semakin kecil ukuran butir, maka semakin besar permukaan sehingga dapat menjerap kontaminan makin banyak. Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukkan oleh kecepatan difusi zat terlarut ke dalam pori-pori partikel adsorben. Ukuran partikel yang baik untuk proses penjerapan antara -100 / +200 mesh.



### 3. Derajat keasaman (pH larutan)

Pada pH rendah, ion  $H^+$  akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan dijerap, sehingga efisiensi penjerapan turun. Proses penjerapan akan berjalan baik bila pH larutan tinggi. Derajat keasaman mempengaruhi adsorpsi karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan, pH yang baik berkisar antara 8-9. Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi.

### 4. Waktu jerap

Waktu jerap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terjerap berlangsung dengan baik.

### 5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan dijerap sedikit, sedang pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang dijerap semakin banyak. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi tumbukan antara partikel semakin besar.

Beberapa adsorben pada proses adsorpsi sangat mempengaruhi sorpsi. Beberapa adsorben yang sering digunakan pada proses adsorpsi misalnya benzonit, tuff, pumice, zeolit, dan silika gel. Pemilihan adsorben juga mempengaruhi kapasitas adsorpsi.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi yaitu:

#### 1. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben.

## 2. Ukuran partikel

Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0,1mm, sedangkan ukuran dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh (Tchobanoglous,1991).

## 3. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontakanya cukup dan waktu kontak berkisar 10-15 menit (Reynolds,1982).

## 4. Distribusi ukuran pori

Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk kedalam partikel adsorben.

### 3.1.2.1 Karbon Aktif

#### a) Pengertian Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori – porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon yang bebas serta memiliki permukaan dalam ( internal surface ), sehingga mempunyai daya serap yang baik. Keaktifan menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85 % sampai 95 % karbon bebas.

Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m<sup>2</sup>/gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan. Sifat dari karbon aktif yang di hasilkan tergantung dari bahan yang

di gunakan, misalnya, tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air.

Menurut Standard Industri Indonesia (SII No. 0258-79) persyaratan arang aktif adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.6 Syarat mutu arang aktif**

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1. Bagian yang hilang pada pemanasan 950° C	%	Maksimum 15
2. Air	%	Maksimum 10
3. Abu	%	Maksimum 2,5
4. Bagian yang tidak mengarang	%	Tidak ternyata
5. Daya serap terhadap larutan I	%	Maksimum 20

Karbon aktif untuk semua tujuan, dan dapat di bagi menjadi dua kelompok, yaitu bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan. Misalnya untuk menghilangkan warna (decolourisasi), sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk absorsi gas dan uap, dikenal pula sebagai karbon pengadopsi gas. Karbon bentuk granuler kadang – kadang juga digunakan didalam media larutan khususnya untuk deklorinasi air dan untuk menghilangkan klor dalam larutan serta pemisahan komponen – komponen dalam suatu system yang mengalir.

#### **b) Daya Serap Karbon Aktif**

Pada proses adsorpsi ada dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ( $\pm 5-6$  kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (*gaya Van Deer Wals*). Unsur yang terjerap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penjerap. Adsorpsi fisika dapat balik (*reversibel*), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penjerap dan bahan terjerap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penjerap. (Tinsley, 1979).

Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penjerap dengan zat-zat terjerap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibanding dengan daya ikat penjerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibanding dengan adsorpsi fisika ( $\pm 10-100$  kkal/mol). Pada proses kimia tidak dapat balik (*inreversibel*) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi. (Tinsley, 1979).

### c) Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif telah banyak yang telah diteliti, dan dalam pustaka telah didapat data yang cukup banyak. Diantaranya dituliskan bahwa karbonisasi untuk memperoleh karbon yang baik untuk di aktivasi arang dan uap air sangat baik pada temperature  $900-1000^{\circ}\text{C}$ , dan penambahan garam KCNS akan mempertinggi daya adsorpsi karbon aktif yang diperoleh.

Secara umum dalam pembuatan karbon aktif terdapat dua tingkatan proses yaitu ;

#### 1. Proses pengarangan (karbonisasi)

Proses ini merupakan proses pembentukan arang dari bahan baku. Secara umum, karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara, sampai temperature yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Hasil yang diperoleh biasanya kurang aktif dan hanya mempunyai luas permukaan beberapa meter persegi pergram. Selama proses karbonisasi dengan adanya dekomposisi pirolitik bahan baku, sebagian elemen – elemen bukan karbon, yaitu hydrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom – atom yang terbebaskan dari karbon elementer membentuk Kristal yang tidak teratur, yang disebut sebagai Kristal grafit elementer. Struktur kristalnya tidak teratur dan celah – celah Kristal ditempati oleh zat dekomposisi tar. Senyawa ini menutupi pori – pori karbon, sehingga hasil proses karbonisasi hanya mempunyai kemampuan adsorpsi yang kecil. Oleh

karena itu karbon aktif dapat juga dibuat dengan cara lain, yaitu dengan mengkarbonisasi bahan baku yang telah dicampur dengan garam dehidrasi atau zat yang dapat mencegah terbentuknya tar, misalnya  $ZnCl_2$ ,  $MgCl_2$ , dan  $CaCl_2$ . Perbandingan garam dengan bahan baku adalah penting untuk menaikkan sifat – sifat tertentu dari karbon.

## 2. Proses aktivasi

Secara umum, aktivasi adalah perubahan karbon dengan daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi, misalnya dengan menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan temperature antara  $700-1100^{\circ}C$ , atau penambahan bahan – bahan mineral sebagai activator. Selain itu aktivasi juga berfungsi untuk mengusir tar yang melekat pada permukaan dan pori – pori karbon. Aktivasi menaikkan luas permukaan dalam (internal area), menghasilkan volume yang besar, berasal dari kapiler – kapiler yang sangat kecil, dan mengubah permukaan dalam dari struktur pori.

Jadi karbon aktif dapat dibuat dengan dua metode aktivasi (Smisek, 1970), yaitu :

1. Aktivasi fisika, pada aktivasi ini menggunakan gas pengaktif, misalnya Uap air atau  $CO_2$ , yang dialirkan pada karbon hasil yang dibuat dengan metode karbonisasi biasa. Pada saat ini senyawa – senyawa hasilikutan akan hilang dan akhirnya akan memperluas hasil permukaan. Aktivasi ini dilakukan sampai derajat aktivasi cukup, yaitu sampai kehilangan berat bekisar antara 30-70 %.
2. Aktivasi kimia, pada aktivasi ini bahan dikarbonisasi dengan tambahan Zat pengaktif (activator) yang mempengaruhi jalannya pirolisis. Kemudian dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan. Biasanya proses aktivasi fisika merupakan awal dari proses aktivasi kimia.

Pembuatan karbon aktif akan melalui beberapa tahapan sebagai berikut : penghilangan air (dehidrasi), pemecahan bahan – bahan organik menjadi karbon, dan ikomposisi tar yang juga memperluas pori – pori.

#### **d) Kegunaan Karbon Aktif**

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan micro misalnya zat organic, detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aaktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat – zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang disaring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus diganti dengan arang aktif yang baru.

Banyak penelitian yang mempelajari tentang manfaat/kegunaan dari kegunaan karbon aktif yang dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya detergen, bau, senyawa phenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang di saring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus di ganti dengan arang aktif yang baru.

Tabel 2.7 Penggunaan karbon aktif

Untuk Zat Cair	
1. Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak enak pada makanan.
2. Minuman ringan dan minuman keras	Menghilangkan warna, bau pada arak/ minuman keras dan minuman ringan
3. Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah, zat perantara
4. Pembersih air	Menyaring/menghilangkan bau, warna zat pencemar dalam air, sebagai pelindung dan penukaran resin dalam alat/penyulingan air
5. Pembersih air buangan	Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar, warna, bau dan logam berat
6. Penambakan udang dan benur	Pemurnian, menghilangkan bau dan warna
7. Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil acetat dan lain-lain

### 3.1.2.2 Zeolit

#### a) Pengertian Zeolit

Zeolit berasal dari kata Zein yang berarti mendidih dan Lithos yang berarti batuan. Dengan demikian zeolit dapat diartikan sebagai batuan yang bersifat mendidih dan mengembang bila dipanaskan. Komposisi zeolit terdiri dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{AlO}_3$ ,  $\text{FeO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan  $\text{TiO}_2$ . Mineral zeolit terbentuk dari reaksi antara debu vulkanis dan air garam. Disamping itu ada juga beberapa jenis zeolit yang dihasilkan dari metamorpose batuan yang terdapat dilaut.

Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia seperti di Bayah, Banten, Cicalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Mineral zeolit mempunyai struktur "*framework*" tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, "*molecular sieving*" dan katalis sehingga memungkinkan digunakan dalam pengolahan limbah industri dan limbah nuklir (Las, T, 1996).

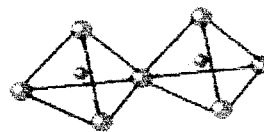
Zeolit juga ditemukan sebagai batuan endapan pada bagian tanah jenis basalt dan komposisi kimianya tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya bila diambil dari lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan impuritis lainnya.

Stuktur zeolit adalah terbuka dan mengandung rongga-rongga yang diisi oleh ion-ion dan molekul air. Rongga-rongga dapat saling berhubungan dan membentuk sistem saluran kesegala arah.

Pada tahun 1984 Professor Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai :

*"A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration".*

Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal  $M_{c/n} \{ (AlO_2)_c (SiO_2)_d \} b H_2O$ .



**Gambar 2.4 Tetrahedra alumina dan silika (TO<sub>4</sub>) pada struktur zeolit**



### b) Proses Pembentukan Zeolit

Menurut proses pembentukannya zeolit digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu

#### 1. Zeolit Alam

Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang-lubang lava, dan dalam batuan piroklasik berbutir halus (tuf). Berdasarkan proses pembentukannya zeolit alam dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

- a. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah atau di antara lapisan batuan. Zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain, seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, flourit, mineral sulfide dan lain-lain.

- b. Zeolit yang berupa batuan

Zeolit ini dapat dibedakan menjadi 7 (tujuh) kelompok, yaitu :

- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di danau asin yang tertutup.
- Mineral zeolit yang terbentuk di dalam danau air tawar atau di dalam lingkungan air tanah terbuka.
- Mineral zeolit yang terbentuk di lingkungan laut
- Mineral zeolit yang terbentuk karena proses metamorphose berderajat rendah, karena pengaruh timbunan.
- Mineral zeolit yang terbentuk oleh aktivitas hidrotermal atau air panas.
- Mineral zeolit yang terbentuk dari gunung api di dalam tanah yang bersifat alkali
- Mineral zeolit yang terbentuk dari batuan atau mineralisasi yang tidak menunjukkan bukti adanya hubungan langsung dengan kegiatan vulkanis.

#### 2. Zeolit Sintetis

Susunan atom maupun komposisi zeolit dapat dimodifikasi, maka dapat dibuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Sifat zeolit sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si dari zeolit tersebut. Oleh karena itu zeolit sintetis dikelompokkan sesuai

dengan perbandingan kadar komponen Al dan Si dalam zeolit menjadi zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang dan zeolit kadar Si tinggi.

### c) Sifat Zeolit

#### 1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan efektif terinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk apabila unit sel kristal tersebut dipanaskan

#### 2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$ - $400^{\circ}\text{C}$  maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

#### 3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis.

#### 4. Katalis

Ciri khusus zeolit yang secara praktis menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalam struktur. Apabila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas di antara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori besar dan permukaan yang maksimum.

### 5. Penyaring/ pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari campuran tertentu, karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2A-8A tergantung dari jenis zeolit). Volume dan ukuran ruang hampa dalam kisi-kisi kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring.

#### d) Manfaat zeolit

##### 1) Dalam Bidang Pengolahan Limbah Industri dan nuklir

zeolit digunakan untuk memisahkan ammonia/ammonium ion dari air limbah industri. Dengan menggunakan Clinoptilolit dapat memisahkan 99% amoniak/ ammonium dari limbah industri.

##### 2) Bidang Proses Produksi

Berdasarkan sifat adsorpsi terhadap gas dan hidrasi molekul air, zeolit digunakan untuk pengeringan pada berbagai produk industri. Sebagai “Drying agent” dari senyawa organik, zeolit digunakan antara lain :

- Pada proses pemurnian metil Klorida dalam industri karet
- Pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, xylene, LPG, LNG pada industri petro kimia
- Untuk hidrokarbon *Propellents-fillers aerosol* untuk pengganti freons industri
- Penyerap klorin, bromin dan florin
- Menurunkan humiditas ruangan
- Penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula
- Campuran filter pada rokok

Dalam industri petrokimia zeolit digunakan pada proses isomerisasi, hidrosulforisasi, hidrokraking, reforming, dehidrasi, dehidrogenasi, dealkilasi, kraking parafin, dispersi toluen/ benzen dan xylen. (Las, 2004)

### 3) Bidang Pertanian dan Peternakan

Dalam bidang pertanian Zeolit digunakan sebagai "*soil conditioning*" yang dapat mengontrol dan menaikkan pH tanah serta kelembaban tanah dan sebagai carrier pestisida/herbisida dan fungisida sedangkan dalam bidang peternakan zeolit juga digunakan sebagai "*food supplement*" pada ternak ruminansia dan non-ruminansia masing-masing dengan dosis 2.5 - 5% dari rasio pakan perhari yang dapat meningkatkan produktivitas baik susu, daging dan telur, laju pertumbuhan serta memperbaiki kondisi lingkungan kandang dari bau yang tidak sedap. Dalam hal fauna laut, zeolit berperan sebagai pengontrol pH air dan penyerap  $\text{NH}_3\text{NO}_3^-$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ , filter air masuk ketambak, pengontrol kandungan alkali, oksigen dan perbaikan lahan dasar tambak melalui penyerapan logam berat Pb, Fe, Hg, Bi dan As.

### 4) Bidang Lingkungan

Dalam masalah lingkungan terutama masalah polusi udara zeolit juga pernah ditaburkan dari pesawat terbang diatas reaktor *Chernobil* untuk maksud menyerap hasil fisi yang terdapat dalam jatuhnya debu radioaktif (*Fall out*) akibat kebakaran reaktor sovyet tahun 1985.

Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas seperti :

- Gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He
- Gas rumah kaca ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  dan  $\text{NO}_3$ )
- Gas organik  $\text{CS}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{CH}_3$ , OH, termasuk pirogas dan fraksi etanan /etilen.
- Pemurnian udara bersih mengandung  $\text{O}_2$
- Penyerapan gas  $\text{N}_2$  dari udara sehingga meningkatkan kemurnian  $\text{O}_2$  di udara (Las, 2004).

### 3.1.3 Proses Pertumbuhan Mikroorganisme (*SEEDING*)

- **Pertumbuhan Mikroorganisme**

Mikroorganisme sangat berperan dalam proses degradasi bahan buangan dari kegiatan yang dibuang ke air lingkungan, baik sungai, danau, maupun laut. Jika bahan buangan yang harus didegradasi cukup banyak, berarti mikroorganisme akan ikut berkembang biak.

Pada perkembangbiakan mikroorganisme ini tidak tertutup kemungkinan bahwa mikroba pathogen ikut berkembang pula. Mikroba pathogen adalah penyebab timbulnya berbagai macam penyakit. Pada umumnya industri pengolahan bahan makanan berpotensi untuk menyebabkan berkembangbiaknya mikroorganisme, termasuk mikroba pathogen ( Wardhan,1995).

Populasi bakteri atau mikroorganisme bisa sangat tergantung pada jenis sampah/buangan yang ditangani. Bakteri atau mikroorganisme yang terdapat pada sampah/buangan dapat bertahan hidup pada pH berkisar antara 6-9 dan mendapatkan nutrisi untuk kebutuhan hidupnya dari mineralisasi atau mendegradasikan bahan-bahan organik disekitarnya.

Pengolahan Air Buangan secara biologi biasanya merupakan pengolahan sekunder, dimana pengolahan dilakukan dengan memanfaatkan kegiatan mikrobial untuk melakukan degradasi atau transformasi. Proses biologi ini dilakukan untuk menguraiakan bahan organik melalui oksidasi biokimia. Pada prinsipnya pengolahan secara biologi merupakan pengembangan dari proses penjernihan air secara alami (*self purification*) (Mangunwijaya,1994).

Menurut Metcalf and Eddy (1979) reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

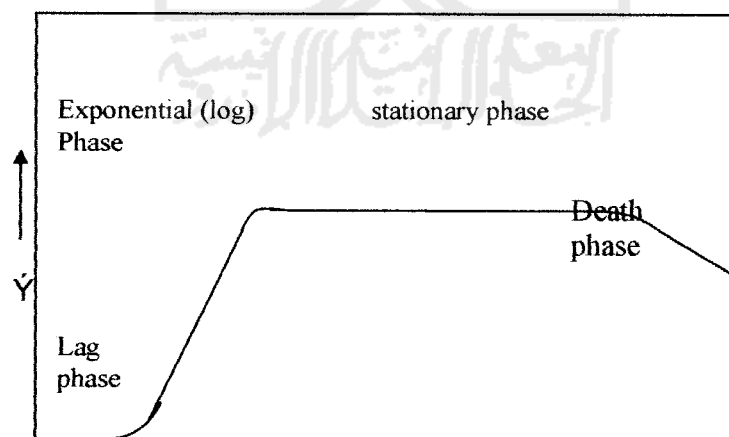
- a. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*Suspended Solid*): didalam reaktor ini mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Reaktor jenis ini antara lain proses lumpur aktif dan kolam oksidasi. Proses lumpur aktif yang banyak dikenal berlangsung dalam reaktor. Proses lumpur aktif terus berkembang dengan berbagai modifikasinya, antara lain : Oksidation ditch dan kontak stabilisasi, , yaitu efisiensi yang tinggi antara 90%-95% dan lumpur yang

dihasilkan lebih sedikit dan waktu detensi hidrolis total yang lebih pendek (4-6 jam).

b. Reaktor pertumbuhan lekat (*attached growth reactor*): mikroorganisme tumbuh diatas media pendukung dengan membentuk lapisan film untuk melekatkan dirinya. Oleh karena itu reaktor ini disebut juga sebagai bioreaktor film tetap. Berbagai modifikasi yang banyak dikembangkan, antara lain : *activated sludge reaktor*, *trickling filter*, *biorotor*, *biofilm*, *aerated lagoon*.

Dalam reaktor pertumbuhan terlekat, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan terlekat pada suatu media dengan membentuk lapisan *biofilm*. Dalam reaktor pertumbuhan melekat (*attached growth reactor*), populasi dari mikroorganisme yang aktif berkembang disekeliling media padat (seperti batu dan plastik). Mikroorganisme yang tumbuh terlekat ini akan menstabilisasi bahan organik pada air buangan yang lewat disekitar mereka. Contoh reaktor ini yaitu *Trickling Filter* dan *Rotating Biological Contactors (RBC)* (Qasim, 1985).

Menurut Jenie (1995), pertumbuhan mikrobia akan melekat bila mikrobia tersebut tumbuh pada media padat sebagai pendukung dari aliran limbah yang kontak dengan mikroorganisme. Media pendukung antara lain batu – batu besar, karang, lembar plastik bergelombang, atau cakram berputar. Contoh unit pertumbuhan melekat untuk pengolahan limbah cair adalah filter yang menetes atau *trickling filter*, cakram biologi berputar dan filter anaerobik.



Gambar 2.5 Kurva Pertumbuhan Mikroba pada Sistem Tertutup  
Sumber : Prescott, 1999

Keterangan :  
Y = Konsentrasi biomassa  
X = Waktu

Menurut Prescott (1994) pertumbuhan mikroorganisme dapat diplotkan sebagai logaritma dari jumlah sel dengan waktu inkubasi. Dari hasil kurva terdiri dari empat fase (gambar 2.5).

➤ *Fase awal (Lag phase)*

Ketika mikroorganisme diperkenalkan kepada media kultur segar, biasanya tidak ada penambahan jumlah sel atau massa, periode ini disebut fase awal.

Fase awal (lag) merupakan masa penyesuaian mikroba, sejak inokulasi sel mikroba diinokulasikan ke mediabiakan. Selama periode ini tidak terjadi penangkaran sel (Mangunwidjaja, 1994). Oleh karena itu :

$$X = X_0 = \text{tetap} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan  $X_0$  = Konsentrasi sel, pada  $t = 0$

Laju pertumbuhan sama dengan nol.

➤ *Fase Ekponensial ( Exponential phase)*

Menurut fase Eksponensial, mikroorganisme tumbuh dan terbagi pada angka maksimal. Pada fase ini pertumbuhannya adalah konstan mengikuti fase eksponensial. Mikroorganisme terbagi dan terbelah di dalam jumlah pada interval regular.

➤ *Fase Stasioner (Stationary phase)*

Fase ini yaitu ketika populasi pertumbuhan berhentidan kurva pertumbuhan menjadi horizontal.

Pada fase stasioner, konsentrasi biomassa mencapai maksimal, pertumbuhan berhenti dan menyebabkan terjadinya modifikasi struktur biokimiawi sel (Mangunwidjaja, 1994).

➤ *Fase kematian (Death phase)*

Kondisi lingkungan yang merugikan mengubah seperti penurunan nutrient dan menimbulkan limbah racun, mengantarkan berkurangnya jumlah dari sel hidup sehingga menyebabkan kematian.

Populasi pertumbuhan mikroba dipelajari dengan menganalisis kurva pertumbuhan dari sebuah kultur media (Prescott, 1999). Teknik evaluasi suatu populasi mikroba baik secara kuantitatif maupun kualitatif dapat digunakan untuk memantau dan mengkaji fenomena pertumbuhan (Mangunwidjaja, 1994).

Bakteri diperlukan untuk menguraikan bahan organik yang ada didalam air limbah. Oleh karena itu, diperlukan jumlah bakteri yang cukup untuk menguraikan bahan-bahan tersebut. Bakteri itu sendiri akan berkembang biak apabila jumlah makanan yang terkandung di dalamnya cukup tersedia, sehingga pertumbuhan bakteri dapat dipertahankan secara konstan. Pada permulaannya bakteri berbiak secara konstan dan agak lambat pertumbuhannya karena adanya suasana baru pada air limbah tersebut, keadaan ini dikenal dengan *lag phase*. Setelah beberapa jam berjalan maka bakteri mulai tumbuh berlipat ganda dan fase ini dikenal sebagai *fase akselerasi (acceleration phase)*. Setelah tahap ini berakhir maka terdapat bakteri yang tetap dan bakteri yang terus meningkat jumlahnya. Pertumbuhan yang dengan cepat setelah fase kedua ini disebut sebagai *log phase*. Selama *log phase* diperlukan banyak persediaan makanan, sehingga suatu saat terdapat pertemuan antara pertumbuhan bakteri yang meningkat dan penurunan jumlah makanan yang terkandung didalamnya. Apabila tahap ini berjalan terus, maka akan terjadi keadaan dimana jumlah bakteri akan habis dan kematian bakteri akan terus meningkat sehingga tercapai suatu keadaan dimana jumlah bakteri yang mati dan yang tumbuh mulai berimbang yang dikenal dengan *statinary phase*.

Setelah jumlah makanan habis dipergunakan, maka jumlah kematian akan lebih besar dari jumlah pertumbuhannya maka keadaan ini disebut *endogeneus phase* dan pada saat ini bakteri menggunakan energi simpanan ATP untuk pernafasannya sampai ATP habis yang kemudian akan mati. (Sugiharto, 1987).

- **Pematangan Lapisan Biofilm**

Biofilm merupakan suatu lapisan unsur-unsur biologi yang terjadi karena proses aerasi. Konsentrasi tinggi dari senyawa organik dalam pengaruh air dapat memacu pematangan *biofilm*. Selama periode pemasakan, penyaringan tidak



mampu merubah keefektifan bakteri karena hanya mekanisme kimia – fisika yang bekerja meremoval bakteri.

*Biofilm* terdiri dari sel-sel mikroorganisme yang melekat erat ke suatu permukaan sehingga berada dalam keadaan diam, tidak mudah lepas atau berpindah tempat (*irreversible*). Pelekatan ini seperti pada bakteri disertai oleh penumpukan bahan-bahan organik yang diselubungi oleh matrik *polimer ekstraseluler* yang dihasilkan oleh bakteri tersebut. Matrik ini berupa struktur benang-benang bersilang satu sama lain yang dapat berupa perekat bagi *biofilm* (Yung, 2003).

*Biofilm* terbentuk karena adanya interaksi antara bakteri dan permukaan yang ditempel. Interaksi ini terjadi dengan adanya faktor-faktor yang meliputi kelembaban permukaan, makanan yang tersedia, pembentukan matrik *ekstraseluler* (exopolimer) yang terdiri dari *polisakarida*, faktor-faktor fisikokimia seperti interaksi muatan permukaan dan bakteri, ikatan ion, ikatan Van Der Waals, pH dan tegangan permukaan serta pengkondisian permukaan. Dengan kata lain terbentuknya *biofilm* adalah karena adanya daya tarik antara kedua permukaan (*psikokimia*) dan adanya alat yang menjembatani pelekatan (*matrik eksopolisakarida*) (Yung, 2003).

*Biofilm* melibatkan serangkaian mekanisme biologis dimana tidak mudah untuk menunjukkan mekanisme yang tepat dan yang mendukung penghilangan *E.coli* tersebut, saat sistem beroperasi dalam berbagai mekanisme. Mekanisme biologis diantaranya:

- a. Predasi/predator, dimana mikrobiologi dalam *biofilm* mengkonsumsi bakteri dan patogen-patogen lain yang ditemukan dalam air (misalnya penyapuan bakteri oleh protozoa).
- b. Kematian alami/inaktivasi, sebagian besar organisme akan mati dalam lingkungan yang relative berbahaya karena meningkatnya kompetisi. Sebagai contoh: ditemukan bahwa jumlah *E.coli* menurun segera saat di dalam air.



- c. Pengolahan ini menuntut aliran yang terus-menerus untuk memberikan pemasukan oksigen yang konstan ke *biofilm* (Yung, 2003).

Dalam bahasa Jerman *biofilm* disebut *Schmutzdecke* yaitu berarti 'Lapisan kotor'. Lapisan film yang lengket ini, yang mana berwarna merah kecoklatan, terdiri dari bahan organik yang terdekomposisi, besi, mangan dan silika dan oleh karena itu bertindak sebagai suatu saringan yang baik yang berperan untuk meremoal partikel - partikel koloid dalam air baku. *Schmutzdecke* juga merupakan suatu zone dasar untuk aktivitas biologi, yang dapat mendegradasi beberapa bahan organik yang dapat larut pada air baku, yang mana bermanfaat untuk mengurangi rasa, bau dan warna.

Biasanya istilah *schmutzdecke* digunakan untuk menandakan zone aktivitas biologi yang umumnya terjadi di dalam *bed* pasir. *Schmutzdecke* perlu didiamkan tanpa adanya gangguan. Hal ini dilakukan sehingga populasi biologi yang ada di puncak pasir tidaklah diganggu atau ditekan, yang mana tidak membiarkan lapisan *film* yang penuh untuk dihancurkan, yang akan mengurangi efek ketegangan pada *film* tersebut sedangkan partikel padatan akan terdorong lebih lanjut ke dalam pasir itu.

#### 3.1.4 Filtrasi

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan bahan tersuspensi dari air dengan cara melewatkan air pada media berpori.

Media filter yang paling banyak digunakan adalah media pasir, hal ini dikarenakan memiliki nilai ekonomis yang rendah/murah. Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan  $\text{SiO}_2$ , yang tinggi, karena  $\text{SiO}_2$  yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula.

Pasir adalah media filter yang paling umum dipakai dalam proses penjernihan air, karena pasir dinilai ekonomis. Tetapi tidak semua pasir dapat

dipakai sebagai media filter. Artinya diperlukan pemilahan jenis pasir sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir.

Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang harus diperhatikan adalah :

- Senyawa kimia pada pasir.
- Karakteristik fisik pasir.
- Persyaratan kualitas pasir yang diisyaratkan.
- Jenis pasir dan ketersediaannya.

#### a) Susunan Kimia Pasir

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi, karena  $\text{SiO}_2$  yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakain tinggi pula.. Proses yang terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.

#### b) Karakteristik Pasir

Karakteristik fisik pasir yang perlu diperhatikan untuk media filter antara lain adalah :

##### 1. Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan/permeabilitas, menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung dan bundar menyudut. Umumnya dalam satu jenis pasir ditemukan bentuk lebih dari satu bentuk butir. Pasir dengan bentuk bundar memberikan kelolosan lebih tinggi dari pada pasir bentuk lain.

##### 2. Ukuran Butiran Pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter  $> 2$  mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter 0,15-0,45 mm memberikan kelolosan yang rendah. Faktor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size* (ES).

### 3. Kemurnian Pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan semurni mungkin, artinya pasir benar-benar bebas dari kotoran, misalnya lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrasi yang dihasilkan.

### 4. Kekerasan Pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

#### c) Jenis Pasir dan Ketersediaannya

Mudah tidaknya jenis pasir yang dijadikan media filter untuk mengambil sangat mempengaruhi harga dari pasir tersebut, sedangkan jumlah atau cadangan pasir hendaknya cukup untuk sejumlah kebutuhan bagi filter yang direncanakan.

Pasir yang diambil dari sungai progo ternyata cukup baik digunakan sebagai media filter karena mempunyai kekerasan yang tinggi juga mempunyai persediaan yang cukup banyak. Berdasarkan hasil pemeriksaan pasir yang berasal dari Sungai Progo diketahui bahwa derajat kerja sebesar 0,398mm. derajat keseragaman sebesar 2.03 serta kelarutan sebesar 3,5% dan berat jenis sebesar  $2,857 \text{ gr/cm}^3$ .

Saringan pasir bertujuan mengurangi kandungan lumpur dan bahan-bahan padat yang ada di air. Ukuran pasir untuk menyaring bermacam-macam, tergantung jenis bahan pencemar yang akan disaring. Pengamatan tentang bahan padat terapung, seperti potongan kayu, dedaunan sampah dan kekeruhan air perlu dilakukan untuk menentukan ukuran yang akan dipakai. Semakin besar bahan padat yang perlu disaring, semakin besar ukuran pasir.

Umumnya, air kotor yang akan disaring oleh pasir mengandung bahan padat dan endapan lumpur. Karena itu, ukuran pasir yang dipakai pun tidak terlalu besar. Yang lazim dimanfaatkan adalah pasir berukuran 0,2mm - 0,8mm.

Berdasarkan ukuran pasir, maka dapat dibedakan dua tipe saringan pasir, yakni saringan cepat dan saringan lambat. Saringan cepat dapat menghasilkan air bersih sejumlah 1,3-2,7 liter/m<sup>3</sup>. Diameter pasir yang dipakai 0,4

mm – 0,8mm dengan ketebalan 0,4m - 0,7m. Saringan pasir lambat menghasilkan air bersih 0,034-0,10 liter/m<sup>3</sup>/detik. Diameter pasir yang dipakai sekitar 0,2mm-0,35mm dengan ketebalan 0,6mm-1,2mm. Saringan pasir hanya mampu menahan bahan padat terapung. Ia tidak dapat menyaring virus atau bakteri pembawa bibit penyakit. Itulah sebabnya air yang sudah melewati saringan pasir masih tetap harus disaring lagi oleh media lain. Saringan pasir ini harus dibersihkan secara teratur pada waktu-waktu tertentu.

#### d) Jenis Operasi Saringan Pasir

Operasi filtrasi pada alat filter media butiran bertujuan untuk menyisahkan padatan tersuspensi dari dalam air, dimana padatan tersuspensi tersebut paling besar memberikan sifat keruh yang dimiliki air.

Pada umumnya operasi unit filter media butiran dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

- 1) Filter Pasir Lambat (*Slow Sand Filter*).
- 2) Filter Pasir Cepat (*Rapid Sand Filter*).
- 3) Filter Bertekanan.

Terdapat banyak perbedaan diantara ketiga unit operasi tersebut baik pada rancangannya ataupun pengoperasiannya. Untuk jenis filter lambat maka ukuran diameter yang digunakan adalah 0,15-0,45mm dengan ketinggian media antara 60-120mm dan laju alir *influent* dalam besaran kecepatan linier pada rentang 1-2m/jam, sedang pada filter pasir cepat ukuran media filter 0,40-0,70mm.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 faktor dan menentukan hasil penyaringan dalam bentuk kualitas *effluent* serta masa operasi saringan yaitu:

- 1) Kualitas air baku, semamkin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
- 2) Suhu, suhu yang baik yaitu antara 20-30°C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
- 3) Kecepatan penyaringan, pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian membuktikan kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas

*effluent*. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975).

- 4) Diameter butiran, serta umum kualitas *effluent* yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang digunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

#### e) Mekanisme Filtrasi

Menurut Razif (1985), proses filtrasi adalah kombinasi dari beberapa fenomena yang berbeda, yang paling penting adalah:

- 1) *Mechanical Straining*, yaitu proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar untuk bisa lolos melalui lubang antara butiran pasir, yang berlangsung diseluruh permukaan saringan pasir dan sama sekali tidak bergantung pada kecepatan penyaringan.
- 2) Sedimentasi, akan mengendapkan partikel *suspended matter* yang lebih halus ukurannya dari lubang pori pada permukaan butiran. Proses pengendapan terjadi pada seluruh permukaan pasir.
- 3) *Adsorption* adalah proses yang paling penting dalam proses filtrasi. Proses adsorpsi dalam saringan pasir lambat terjadi akibat tumbukan antara partikel-partikel tersuspensi dengan butiran pasir saringan dan dengan bahan pelapis seperti gelatin yang pekat yang terbentuk pada butiran pasir oleh endapan bakteri dan pada partikel koloid. Proses ini yang lebih penting terjadi sebagai hasil daya tarik menarik elektrostatis, yaitu antara partikel-partikel yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan.
- 4) Aktivitas kimia, beberapa reaksi kimia akan terjadi dengan adanya oksigen maupun bikarbonat.
- 5) Aktivitas biologis yang disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup dalam filter.