

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Rumah Sakit**

Rumah sakit adalah sarana upaya kesehatan yang menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan yang meliputi pelayanan rawat jalan, rawat nginap, pelayanan gawat darurat, pelayanan medik dan non medik yang dalam melakukan proses kegiatan hasilnya dapat mempengaruhi lingkungan sosial, budaya dan dalam penyelenggaraan upaya dimaksud dapat mempergunakan teknologi yang diperkirakan mempunyai potensi besar terhadap lingkungan. Kegiatan-kegiatan tersebut akan menimbulkan dampak positif dan dampak negative. Dampak positif adalah meningkatnya derajat kesehatan masyarakat, sedangkan dampak negatifnya antara lain adalah sampah dan limbah medis maupun non medis yang dapat menimbulkan penyakit dan pencemaran yang perlu perhatian khusus. Oleh karena itu perlu adanya upaya penyehatan lingkungan rumah sakit yang bertujuan untuk melindungi masyarakat dan karyawan akan bahaya pencemaran lingkungan yang bersumber dari sampah maupun limbah rumah sakit.

Departemen Kesehatan tahun 1997 mengungkapkan bahwa rumah sakit di seluruh tahanan air berjumlah 1090 dengan 121.996 tempat tidur. Hasil kajian terhadap 100 Rumah Sakit di Jawa dan Bali menunjukkan rata-rata produksi sampah sebesar 3.2 kg per tempat tidur per hari sedangkan produksi limbah cair sebesar 416.8 liter per tempat tidur per hari. Diperkirakan secara nasional produksi sampah (limbah padat)

rumah sakit sebesar 367.089 ton per hari dan produksi air limbah sebesar 48.985,70 ton per hari (sumber: [www.pdii.lipi.gi.id](http://www.pdii.lipi.gi.id)). Dari hasil kajian dan penelitian diatas rumah sakit sangat berpotensi besar dalam mencemari lingkungan dan kemungkinan menimbulkan kecelakaan dan penularan penyakit.

Kegiatan rumah sakit menghasilkan berbagai macam limbah yang berupa cair, padat dan gas. Pengelolaan limbah rumah sakit adalah bagian dari kegiatan penyehatan lingkungan rumah di rumah sakit. Unsur –unsur yang terkait dengan penyelenggaraan kegiatan rumah sakit (termasuk pengolahan limbahnya) yaitu :

- Pengguna jasa pelayanan rumah sakit
- Para ahli, pakar dan lembaga yang dapat memberikan saran-saran.
- Pemrakarsa atau penanggung jawab rumah sakit
- Para pengusaha dan swasta yang dapat menyediakan sarana dan fasilitas yang diperlukan

## **2.2 Karakteristik Limbah Rumah Sakit**

Sampah dan limbah rumah sakit adalah semua sampah dan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan penunjang lainnya. Sampah dan limbah rumah sakit dapat dikategorikan dalam jenis sampah dan limbah yang kompleks dibandingkan dengan limbah dari instalasi lain.

Jenis-jenis limbah rumah sakit meliputi bagian sebagai berikut :

a. Limbah klinik,

Merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pelayanan pasien secara rutin, pembedahan dan di unit-unit resiko tinggi. Limbah ini mungkin berbahaya dan mengakibatkan resiko tinggi infeksi kuman dan populasi umum dan staff rumah sakit. Contoh jenis limbah ini antara lain perban atau pembungkus yang kotor, cairan badan, anggota badan yang teramputasi, jarum-jarum dan semprit bekas, kantong urin dan darah.

b. Limbah Potologi

Sama seperti jenis limbah yang di atas, limbah jenis ini juga dianggap beresiko tinggi terhadap lingkungan sekitarnya dan sebaiknya diotoklaf sebelum keluar dari unit patologi. Limbah tersebut harus diberi label *biohazard*.

c. Limbah Bukan Klinik

Yang termasuk limbah jenis ini antara lain kertas-kertas pembungkus atau kantong dan plastik yang tidak berkontak dengan cairan badan. Limbah ini tidak menimbulkan resiko sakit, namun limbah ini cukup merepotkan karena memerlukan tempat yang besar untuk mengangkut dan membuangnya.

d. Limbah Dapur

Limbah ini mencakup sisa-sisa makanan dan air kotor, berbagai serangga seperti kecoa, kutu, dan hewan mengerat seperti tikus merupakan gangguan bagi staff maupun pasien rumah sakit.

e. Limbah radioaktif

Limbah jenis ini memerlukan penanganan yang baik kendati limbah ini tidak menimbulkan persoalan pengendalian infeksi di rumah sakit.

Limbah klinis adalah limbah yang berasal dari pelayan medis, perawatan gigi, veteriner, farmasi atau sejenis, pengobatan, perawatan, penelitian atau pendidikan yang menggunakan bahan-bahan beracun, infeksius berbahaya atau bisa membahayakan kecuali jika dilakukan pengamanan tertentu. Limbah klinis berdasarkan potensi yang terkandung di dalamnya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Limbah benda tajam

Limbah benda tajam adalah obyek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit seperti jarum hipodermik, perelengkapan intravena, pipet pasteur, pecahan gelas, pisau bedah. Semua benda tajam ini memiliki bahaya potensi dan dapat menyebabkan cedera melalui luka sobekan atau tusukan.

2. Limbah Infeksius

Limbah ini mencakup pengertian sebagai berikut :

- a. Limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif)
- b. Limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/isolasi penyakit menular.

### 3. Limbah jaringan tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi, organ badan, darah dan cairan tubuh, biasanya dihasilkan pada saat pembedahan atau otopsi.

### 4. Limbah sitotoksik

Limbah sitotoksik adalah bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi sitotoksik.

### 5. Limbah farmasi

Limbah ini berupa yang berasal dari obat-obat kadaluarsa, obat-obat yang terbuang akibat tidak lolos spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat-obat yang dibuang oleh pasien atau masyarakat dan limbah yang dihasilkan selama proses produksi obat-obatan.

### 6. Limbah kimia

Limbah kimia adalah limbah yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, laboratorium, proses sterilisasi, dan riset

### 7. Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radio nuklida.

### **2.3 Pengaruh Limbah Rumah Sakit Terhadap Lingkungan**

Pengaruh limbah rumah sakit terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan dapat menimbulkan berbagai masalah antara lain :

a) **Gangguan terhadap kenyamanan dan estetika lingkungan**

Keberadaan limbah akan dapat menurunkan tingkat kenyamanan hidup dan nilai estetika lingkungan bila tidak tertangani dengan baik, contoh gangguan ini berupa bau fenol, eutrofikasi, rasa dari bahan kimia organik, warna yang berasal dari sedimentasi, air yang berlumpur dan sebagainya.

b) **Gangguan atau kerusakan tanaman dan binatang**

Kandungan limbah rumah sakit yang kompleks sedikit banyak akan mengganggu kehidupan tanaman maupun binatang seperti virus, senyawa nitrat, bahan kimia, pestisida, logam nutrien tertentu dan fosfor.

c) **Gangguan terhadap kesehatan manusia**

Dapat disebabkan karena berbagai bakteri, virus, senyawa-senyawa kimia, pestisida, serta logam seperti Hg, Pb, dan Cd yang berasal dari bagian kedokteran gigi.

d) **Gangguan genetik dan reproduksi**

Beberapa senyawa dapat menyebabkan kerusakan genetik maupun gangguan terhadap kandungan seperti pestisida, bahan radioaktif.

## 2.4 Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah cair rumah sakit mengandung bermacam-macam mikroorganisme, bahan-bahan organik dan anorganik. Berikut ini beberapa contoh fasilitas Unit Pengolah Limbah yang umum di pakai di rumah sakit antara lain sebagai berikut :

- Anaerobic Filter Treatment System
- Proses anaerobic filter treatment biasanya akan menghasilkan effluent yang mengandung zat-zat asam organik dan senyawa anorganik yang memerlukan klor lebih banyak untuk proses oksidasinya. Sistem Anaerobic Treatment terdiri dari komponen-komponen antara lain :
  - Pump Swap (pompa air kotor)
  - Septic Tank (inhalation tank)
  - Anaerobic filter
  - Stabilization tank (bak stabilisasi)
  - Chlorination tank (bak klorinasi)
  - Sludge drying bed (tempat pengeringan lumpur)
  - Control room (ruang kontrol)
- Kolam Stabilisasi Limbah (Waste Stabilization Pond System)

Sistem pengelolaan ini cukup efektif dan efisien kecuali masalah lahan, karena kolam stabilisasi memerlukan lahan yang cukup luas; maka biasanya dianjurkan untuk rumah sakit di luar kota (pedalaman) yang biasanya masih mempunyai lahan yang cukup. Sistem ini terdiri dari bagian-bagian yang cukup sederhana

yakni :

- Pump Swap (pompa air kotor).
- Stabilization Pond (kolam stabilisasi) 2 buah.
- Bak Klorinasi
- Control room (ruang kontrol)
- Inlet
- Incinerator antara 2 kolam stabilisasi
- Outlet dari kolam stabilisasi menuju sistem klorinasi.
- Kolam oksidasi air limbah (*Waste Oxidation Ditch Treatment System*)

Sistem ini cocok untuk diterapkan untuk pengolahan limbah rumah sakit di kota, karena tidak memerlukan lahan yang luas.

Sistem kolam oksidasi ini terdiri dari :

- Pump Swap (pompa air kotor)
- Oxidation Ditch (pompa air kotor)
- Control Room (ruang kontrol)
- Chlorination Tank (bak klorinasi)
- Sludge Drying Bed
- Sedimentation Tank (bak pengendapan)

Untuk mengolah air yang mengandung senyawa organik umumnya menggunakan teknologi pengolahan air limbah secara biologis atau gabungan antara proses biologis dengan proses kimia-fisika. Proses secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau



kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi.

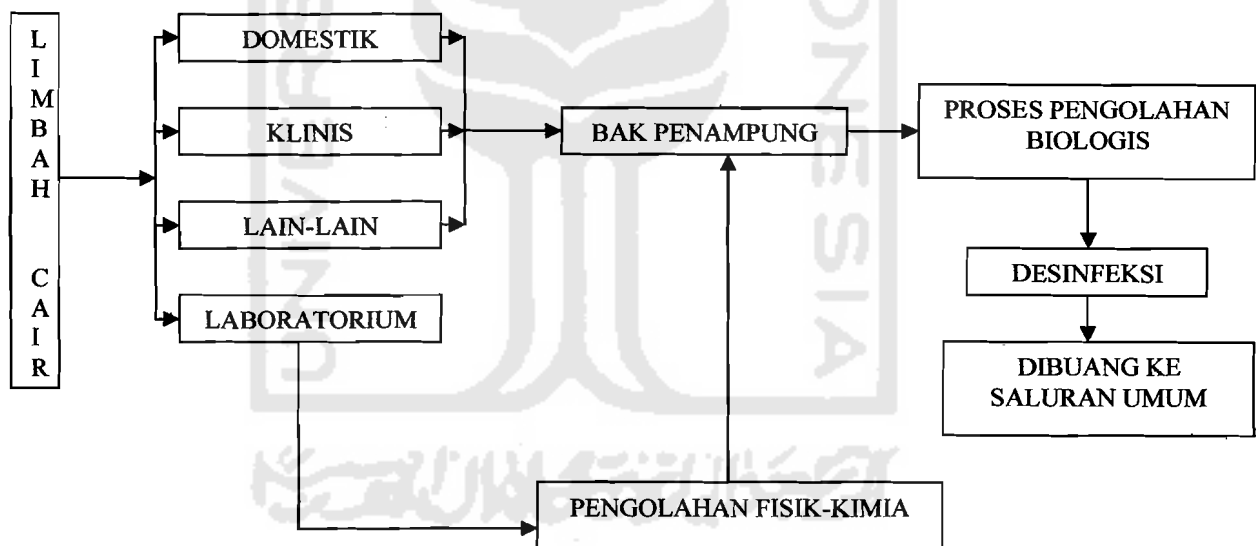
Pengolahan air limbah secara biologis aerobik secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikro-organisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar/konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *trickling filter* atau *biofilter*, *rotating biological contactor* (RBC), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya. Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu

tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikro-organisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai.

Untuk mempercepat proses penguraian senyawa polutan atau memperpendek waktu tinggal dapat juga dilakukan proses aerasi. Salah satu contoh proses pengolahan air limbah dengan cara ini adalah kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Proses dengan sistem lagoon tersebut kadang-kadang dikategorikan sebagai proses biologis dengan biakan tersuspensi.

Berikut adalah diagram alir proses pengolahan limbah rumah sakit :



Gambar 2.1 :Diagram pengelolaan air limbah rumah sakit

(Sumber : BPPT, 1999)

Beberapa tolak ukur pencemaran air oleh rumah sakit pada adalah warna, fenol, pH, COD, BOD, zat organik dan logam – logam berat (Fe, Cu, Zn, Cd, Pb). (Anonim, 1978).

Tabel 2.1 Karakteristik limbah cair rumah sakit

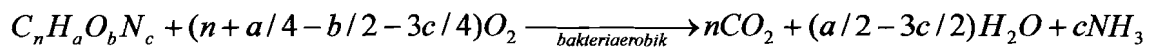
| No | Parameter      | Satuan | Nilai  | Baku Mutu  |
|----|----------------|--------|--------|------------|
| 1. | pH             | -      | 5.8    | 6 – 9      |
| 2. | BOD            | Mg/L   | 1260   | 30 – 300   |
| 3. | COD            | Mg/L   | 3039.7 | 60 – 600   |
| 4. | TSS            | Mg/L   | 855    | 100 – 400  |
| 5. | Minyak / Lemak | Mg/L   | 60.0   | 1.0 – 20.0 |
| 6. | Phenol         | Mg/L   | 0.926  | 0.1 – 2.0  |
| 7. | Warna          | PtCo   | 185    | 50         |
| 8. | Nitrat         | Mg/L   | 8.25   | 0.06 – 5.0 |

(sumber : BPPT, 1999 )

## 2.5 Parameter Penelitian

### 2.5.1 BOD (Biological Oxygen Demand)

BOD (Biological Oxygen Demang), atau kebutuhan oksigen biologis, adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganime di dalam air untuk mengdegradasi bahan buangan organik yang terdapat dalam air tersebut. Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri aerobik adalah sebagai berikut :



Seperti tampak pada reaksi diatas, bahan buangan organik dipecah dan diuraikan menjadi gas CO<sub>2</sub>, air dan gas NH<sub>3</sub>. Timbulnya gas NH<sub>3</sub> inilah yang menyebabkan bau busuk pada air yang telah dicemari oleh bahan buangan organik.

Reaksi tersebut diatas memerlukan waktu yang cukup lama kira-kira 10 hari dalam waktu 2 hari mungkin reaksi telah mencapai 50% dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75% (Wisnu Arya W,2001). Bila dibandingkan dengan reaksi COD yang hanya memakan waktu sekitar 2 jam, maka reaksi uji BOD ini relative sangat lambat karena tergantung pada kerja bakteri.

Studi kinetika reaksi BOD memperlihatkan bahwa reaksi ini mengikuti orde pertama atau laju reaksi sebanding dengan jumlah organik teroksidasi yang tersisa pada waktu tertentu yang dilakukan oleh populasi dimana variasi yang terjadi relatif kecil, laju dikontrol oleh jumlah makanan yang tersedia untuk organisme dan diekspresikan sebagai berikut :

$$\frac{-dC}{dt} \propto C \text{ atau } \frac{-dC}{dt} = k' C \quad (\text{Pers. 2.1})$$

Dimana C : konsentrasi bahan organik awal teroksidasi pada waktu awal reaksi

T : lamanya reaksi berjalan

k' : kostanta laju reaksi

Persamaan diatas menunjukkan bahwa lajur reaksi secara perlahan berkurang jika konsentrasi bahan makanan atau bahan organik, C berkurang.

Dalam berbagai kasus, lebih diutamakan nilai BOD yang biasa ditentukan oleh aktual dengan pengukuran oksigen terlarut. Seringkali dinyatakan sebagai BOD 5 hari atau BOD pada waktu tertentu lainnya. Hal ini dinyatakan sebagai :

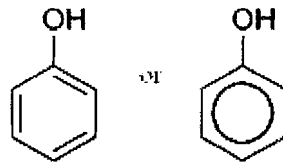
$$y = L(1 - 10^{-kt}) \quad (\text{Pers. 2.2})$$

Dengan  $y$  = BOD pada waktu  $t$ ,  $L$  = BOD total atau ultimat. Nilai  $k$  harus ditentukan berdasarkan percobaan.

### 2.5.2 Fenol

Fenol ( $C_6H_5OH$ ) merupakan senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil terikat langsung pada atom karbon dalam cincin benzena. Fenol bersifat asam karena dapat melepaskan  $H^+$  sehingga kepolarannya cukup tinggi. Aktivitas alam, domestik dan industri dapat menghasilkan limbah cair yang mengandung fenol. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang umum dalam industri kimia. Industri yang banyak menghasilkan limbah fenol adalah industri pulp dan kertas, industri kayu/kayu lapis, industri migas, industri plastik, industri tekstil, dan limbah rumah sakit (Fardiaz, 1992). Konsentrasi fenol rata-rata dalam limbah cair berbagai macam proses industri bervariasi antara 35 – 8000 mg/L.

Fenol merupakan salah satu dari persenyawaan oromatik yang tak berwarna yang paling penting. Fenol memiliki nama kimia lain yaitu ; *Carbolic Acid*, *Benzenol*, *Phenylic Acid*, dan *Hydroxybenzene*.



Gambar 2.2 : Struktur molekul Fenol

Fenol ( $C_6H_5OH$ ) adalah *monohydrosida derivate dabenzene* yang memiliki titik didih  $181.7\text{ }^\circ\text{C}$  dan titik lebur  $40.5\text{ }^\circ\text{C}$ . Kelatutan Fenol dalam air sebesar  $9.8\text{ g}/100\text{ mL}$  dengan densitas  $1.07\text{ g}/\text{cm}^3$ . Pada tahun 1800 ahli bedah berkebangsaan Inggris Joseph Lister memperkenalkan pheno sebagai anti septik rumah sakit. Meskipun memiliki sifat antiseptic yang baik namun Fenol dapat juga menyebabkan kausit dan racun dan dapat merusak hati dan jantung. Fenol yang juga dikenal sebagai asam karbol ini dalam larutan konsentrasi tinggi (pekat) sangat beracun bagi bakteri. Fenol digunakan secara luas sebagai *germecida* dan desinfekta. Fenol terjadi sebagai satu komponen alamiah dalam buangan industri dari industri gas batu bara, pokas batu bara dan industri minyak tanah.

Riset yang dilakukan di Dw Chemical Co.Plant midlang, Michigan dan tempat lain menunjukkan bahwa Fenol akan berfungsi sebagai makanan bakteri tanpa efek toksis yang serius pada tingkat konsentrasi  $500\text{ mg}/\text{L}$ . Pada sesuatu konsentrasi maksimal tertentu, bakteri akan menggunakan Fenol sebagai makanan, tetapi bakteri akan mendapatkan sebagai suatu bahan yang terlalu toksik untuk digunakan sebagai makanan dan reproduksi organisme tersebut. Fenol akan menimbulkan bau apabila bereaksi dengan chlor.

Fenol mudah masuk lewat kulit sehat, keracunan akut akan menyebabkan gejala gastrol intestinal, sakit perut, kelainan koordinasi bibir, mulut dan tenggorokan. keracunan kronis menimbulkan gejala gastro intestinal, sulit menelan, hipersalivasi, kerusakan ginjal dan hati dan dapat menyebabkan kematian.

## **2.6 Reaktor Aerokarbonfilter**

Rektor yang dipergunakan dalam penelitian ini menggunakan beberapa prinsip dari beberapa unit pengolahan, yaitu aerasi, zeolit, dan filtrasi yang digabung menjadi satu kesatuan. Dengan kombinasi beberapa unit pengolahan ini diharapkan dapat menurunkan konsentrasi limbah khususnya BOD dan Fenol.

### **2.6.1 Aerasi**

Aerasi adalah fenomena dimana terjadi pertukaran molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada gas-liquid interface. Pertukaran tersebut menyebabkan konsentrasi molekul gas di dalam cairan mencapai titik jenuh. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (interface), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut. Atau dengan kata lain aerasi adalah proses pengolahan air dengan mengontakkannya dengan udara. Aerasi sering digunakan untuk transfer oksigen untuk proses pengolahan biologi, stripping dalam mengatasi limbah cair, dan untuk menghilangkan gas-gas volatile seperti  $H_2S$  dan  $NH_3$ .

Laju difusi dari gas terlarut dalam liquid adalah tergantung dari karakteristik dari gas dan liquid, tempertur, konsentrasi gradient, dan luas permukaan difusi.

### 2.6.1.1 Kejenuhan Oksigen

Konsentrasi jenuh oksigen dalam air tergantung pada derajat salinitas air, suhu, dan tekanan parsial yang berkontak dengan air. Eckenfender dan O'Connor dalam Benefield dan Randal (1998) menyarankan bahwa konsentrasi jenuh dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$(C_s)_{760} = \frac{475 - 2.65S}{33.5 + T} \quad (\text{Pers.2.3})$$

Dimana :  $(C_s)_{760}$  = nilai kejenuhan oksigen pada tekanan udara 760 mmHg, mg/L

S = konsentrasi padatan terlarut dalam air, gram/l

T = suhu, °C

Perbedaan antara nilai penjenuhan 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 penjenuhan.

Tingkat pemindahan gas untuk seluruh interface atau bidang pemisah zat cair-gas pada umumnya dinyatakan dalam persamaan integrasi sebagai berikut :

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C_o) \quad (\text{Pers.2.4})$$

Dimana :

$\frac{dC}{dt}$  = Tingkat perubahan pada konsentrasi (mg/L-s)

$K_L a$  = Keseluruhan koefisien pemindahan masa (/s)



- $C_s$  = Konsentrasi penjuhan (mg/L)  
 $C$  = Konsentrasi pada setiap waktu  
 $C_0$  = Konsentrasi pada awal pada  $t = 0$  (mg/L)

Koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) adalah nilai variabel yang bergantung pada hubungan yang kompleks, termasuk temperatur, area melalui gas yang dipencar, volume zat air yang bersentuhan, dan koefisien pemencaran gas. Nilai  $K_{La}$  bergantung pada temperatur, yaitu nilai  $K_{La}$  akan meningkat jika suhu dinaikan. Nilai  $K_{La}$  yang besar akan memberikan efisiensi yang lebih baik serta nilai oksigen terlarut pun besar. Selain itu, nilai  $K_{La}$  dipengaruhi oleh kekeruhan air.

Aplikasi yang paling penting dalam pengolahan limbah cair adalah transfer oksigen kedalam proses pengolahan biologi dan reaerasi secara alami dari sungai. Kelarutan gas, tidak seperti kelarutan zat padat dalam air, pada tekanan parsial sampai 1 atm, konsentrasi keseimbangan gas dalam larutan pada suhu tertentu sebanding dengan tekanan parsial gas dalam air, hukum Henry menyatakan :

$$C_s = H \cdot \bar{P} \quad (\text{Pers 2.5})$$

Dimana  $C_s$  = konsentrasi jenuh atau keseimbangan gas dalam larutan, mg/L

$\bar{P}$  = tekanan parsial phase gas dalam air, atm

H = koefisien kelarutan Henry

Hukum Henry sering digunakan pada teknik pengolahan air dan air limbah seperti oksigen, metana, karbondioksida, dan hidrogen sulfida.

Kelarutan molekul gas ke dalam cairan tergantung pada :

- Sifat gas yang bersangkutan
- Temperatur
- Konsentrasi gas pada fase gas, dimana tergantung pada tekanan relatif "p" pada fase gas
- Impurities

Aerasi bertujuan untuk :

- Untuk mengurangi konsentrasi bahan penyebab rasa, dan bau seperti hidrogen sulfida dan beberapa senyawa organik
- Untuk melarutkan gas (oksigen) ke dalam air sehingga terjadi penambahan jumlah oksigen dalam air
- Penurunan jumlah karbondioksida (CO<sub>2</sub>).

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

#### 2.6.1.2 Jenis Aerasi

- a) Memasukan udara ke dalam air

Adalah proses memasukkan udara atau oksigen murni kedalam air melalui benda porous atau *nozzle*. Apabila *nozzle* diletakkan di tengah-tengah, maka

akan meningkatkan kecepatan berkontaknya gelembung udara tersebut dengan air., sehingga proses pemberian oksigen akan berjalan lebih cepat. Oleh karena itu, biasanya *nozzle* adalah berasal dari udara luar yang dipompakan ke dalam air limbah oleh pompa tekan.

b) Memaksakan air ke atas untuk berkontak dengan oksigen

Adalah cara mengontakkan air dengan oksigen melalui pemutaran baling-baling yang diletakkan pada permukaan air. Akibat dari pemutaran ini, air akan terangkat ke atas dan dengan terangkatnya maka air akan mengadakan kontak langsung dengan udara sekitarnya. Pengalaman menunjukkan bahwa 43-123 m<sup>3</sup> udara diperlukan untuk menguraikan 1 kg BOD atau bila dalam pengolah air limbah dengan menggunakan aerator mekanis diperlukan 0,7-0,9 kg oksigen/jam untuk dimasukkan kedalam Lumpur aktif.

c) 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 ke bawahnya rata-rata sekitar 0.02 m<sup>3</sup>/detik. Air diterjunkan dan dikumpulkan lagi pada tiap-tiap tray. Tary 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.

### 2.6.1.3 Tipe-tipe aerator :

#### 1. Gravity aerator:

- Cascade
- Incline plane
- Vertical stack

#### 2. Spray aerator

- Amsterdam nozzle
- Dresden nozzle
- Talford nozzle, dll

#### 3. Bubble aerator

#### 4. Mechanical aerator

Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan unit aerasi adalah :

1. Kecepatan gas transfer berbanding langsung dengan luas kontak per unit volume. Peralatan aerasi yang ideal akan memaksimumkan luas kontak. Misal untuk aerator cascade, terjunan yang lebih tinggi akan meningkatkan luas kontak. Untuk spray aerator, nozzle yang menghasilkan butiran yang lebih kecil memberikan luas kontak yang lebih besar.
2. Kecepatan transfer gas juga berbanding langsung dengan waktu kontak, sehingga unit aerator harus memperbesar waktu kontak.
3. Kecepatan transfer gas terhadap perbedaan antara konsentrasi jenuh dan konsentrasi awal dari gas ( $C_s - C_o$ ). Konsentrasi jenuh tergantung pada faktor-faktor yang telah disebutkan diatas.

### 2.6.2 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 bebas serta memiliki permukaan dalam (internal surface), sehingga mempunyai daya serap yang lebih baik. Keaktifan menyeras dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas.

Karbon aktif 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 per gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (internal surface) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan.

Karbon aktif untuk semua tujuan, dan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan. Misalnya untuk menghilangkan warna (*decolorisasi*), sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk absorpsi gas dan uap, dikenal pula sebagai karbon pengadsorpsi gas. Karbon bentuk granular kadang-kadang juga digunakan didalam media larutan khususnya untuk deklorinasi air dan untuk penghilang warna dalam larutan serta pemisahan komponen komponen dalam suatu sistem yang mengalir (Smisek, 1970).

Sifat dari karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan yang digunakan, misalnya, tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air.

### 2.6.2.1 Struktur Karbon

Arang, kokas dan karbon aktif disebut amorf. Penyelidikan dengan sinar X menunjukkan bahwa karbon amorf mempunyai sifat kristal yang tidak tertentu, yang tidak menunjukkan sudut dan permukaan kristal seperti bentuk rombis, monoklin, dan lain-lain. Dari penyelidikan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa karbon amorf terdiri dari pelat-pelat datar dimana atom C (karbon) tersusun dalam sisi heksagon dan setiap atom karbon yang lainnya. Pelat-pelat ini bertumpuk satu sama lainnya membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaannya. Dengan menghilangkan hidrokarbon pada permukaannya, permukaan akan menjadi lebih luas, sehingga daya serap akan menjadi lebih besar. Pada grafit, pelat-pelat ini lebih dekat satu sama lainnya dan terikat dengan cara tertentu, yang tidak dijumpai pada karbon kristal.

Struktur dasar karbon aktif dan karbon hitam diperkirakan menyerupai struktur grafit murni. Kristal grafit tersusun dari lapisan-lapisan heksagonal yang tersusun dari atom-atom karbon, yang terikat dengan gaya van der Waals yang lemah dan jarak antara lapisan-lapisan bidang tersebut adalah 3,35 Angstrom. Jarak ikatan antara atom-atom karbon dalam masing-masing lapisan adalah 1,415 Angstrom. Tiga dari keempat elektron karbon membentuk ikatan kovalen dengan atom yang

berdekatan, sedangkan elektron yang keempat beresonansi dengan beberapa struktur ikatan valensi. Struktur karbon aktif sedikit berbeda dari grafit.

Selama proses karbonisasi terbentuk dari beberapa inti aromatis yang mempunyai struktur yang sama dengan grafit. Dari data spektrograf sinar x, struktur diinterpretasikan sebagai struktur mikrokristal yang tersusun dari gabungan cincin-cincin heksagonal dari atom-atom karbon. Adanya pengotor pada saat pembuatan ini mempengaruhi pembentukan senyawa-senyawa didalam mikro kristal. Garten dan Weiss (1983) menyatakan bahwa struktur cincin pada ujung-ujung bidang sering kali merupakan gugus heterosiklis yang berasal baik dari bahan baku maupun dari proses pembuatannya. Gugus-gugus heterosiklis akan cenderung mempengaruhi jarak dari bidang sekitarnya dan sifat adsorpsi karbon.

Susunan teratur dari ikatan-ikatan karbon pada permukaan kristal dirusak selama proses aktivasi, menghasilkan valensi bebas yang sangat reaktif. Perkembangan struktur yang dihasilkan adalah fungsi dari temperatur karbonisasi dan struktur aktivasi.

Struktur pori suatu adsorben dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu, macropori, transisional pori dan mikropori. Dua tingkat oksidasi terjadi selama proses aktivasi dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Pertama, makropori terbentuk karena terbakarnya gugus ujung mikrokristal. Kedua, mikropori terbentuk terutama karena terbakarnya bidang mikrokristal.

Pori yang mempunyai radius efektif lebih besar dari 50-100 nm dikelompokkan oleh Dubinin sebagai mikropori. Pada karbon aktif, radius efektif mikro porinya berkisar 500-2000 nm, volumenya antara 1,2 – 0,8 ml/gram. Harga luas permukaan

yang kecil atau dapat diabaikan, menunjukkan bahwa mikropori karbon aktif tidak cukup berperan dalam adsorpsi kecuali untuk senyawa-senyawa organik yang mempunyai ukuran molekul yang besar.

Transisional pori menurut Dunin mempunyai ukuran antara 100-200 nm dan 1,6 nm. Adsorpsi monomolekuler terjadi pada permukaan dalam pori ini. Biasanya karbon aktif mempunyai volume transisional pori relatif kecil dan berkisar antara 20-70 m<sup>3</sup>/gram. Untuk karbon aktif dengan porositas transisional pori dapat mencapai 7 ml/gram dan luas permukaan spesifiknya dapat mencapai 450 m<sup>2</sup>/gram. Radius efektifnya biasanya 4-20 nm.

Radius efektif mikropori lebih kecil dari pada 1,82 nm, berkaitan dengan ukuran molekul. Untuk karbon aktif, volume mikroporinya kira-kira 0,15-0,5 ml/gram dan luas spesifiknya minimal 95% dari luas permukaan seluruhnya.

#### **2.6.2.2 Sifat Karbon Aktif**

Sifat adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur porinya, tetapi ditentukan juga oleh komposisi kimianya. Misalnya ketidakteraturan struktur mikrokristal elementer, karena adanya lapisan karbon yang terbakar tidak sempurna (terbakar sebagian), akan mengubah susunan elektron dalam rangka karbon. Akibatnya akan terjadi elektron tak berpasangan, keadaan ini akan mempengaruhi sifat adsorpsi karbon aktif, terutama senyawa polar atau yang dapat terpolarisasi. Jenis ketidakteraturan yang lain adalah adanya hetero atom didalam struktur karbon.

Karbon aktif mengandung elemen-elemen yang terikat secara kimia, seperti oksigen dan hidrogen. Elemen-elemen ini dapat berasal dari bahan baku yang



tertinggal akibat tidak sempurnanya proses karbonisasi, atau pula dapat terikat secara kimia pada proses aktivasi. Demikian pula adanya kandungan abu yang bukan bagian organik dari produk. Untuk tiap-tiap jenis karbon aktif kandungan abu dan komposisinya ada bermacam-macam. Adsorpsi elektrolit dan non elektrolit dari larutan dari karbon aktif, juga dipengaruhi oleh adanya sejumlah kecil abu. Adanya oksigen dan hidrogen mempunyai pengaruh besar pada sifat-sifat karbon aktif. Elemen-elemen ini berkombinasi dengan atom-atom karbon membentuk gugus-gugus fungsional tertentu. Gugus yang biasanya terdapat pada permukaan atom adalah : (1) gugus karboksilat, (2) gugus hidroksi fenol, (3) gugus kuinon tipe karbonil (4) normal lakton, (5) lakton tipe fluoresin, (6) asam karboksilat anhidrit dan peroksida siklis.

#### **2.6.2.3 Daya Serap Karbon Aktif**

Proses adsorpsi terjadi pada bagian permukaan antara padatan-padatan, padatan-cairan, cairan-cairan, atau cairan gas. Adsorpsi dengan bahan padat seperti karbon, tergantung pada luasan permukaannya.

Sifat daya serap karbon aktif terbagi atas dua jenis, yaitu daya serap fisika dan daya serap kimia. Keduanya dapat terjadi atau tidaknya perubahan kimia yang terjadi antara zat yang mengadsorpsi (adsorben). Beberapa teori yang menerangkan tentang gejala daya serap yang sebenarnya, belum cukup untuk mengemukakan tentang terjadinya daya serap pada karbon aktif.

Karbon aktif dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, tetapi mekanisme penyerapan senyawa tersebut belum semua diketahui dengan jelas. Mekanisme penyerapan yang telah diketahui antara lain penyerapan golongan fenol

dan aldehid aromatis maupun derivatnya. Senyawa fenol-aldehid maupun derivatnya terserap oleh karbon karena adanya peristiwa donor-akseptor elektron. Gugus karbonil pada permukaan karbon bertindak sebagai donor elektron. Karena ada peristiwa tersebut, maka inti benzena akan berikatan dengan gugus karbonil pada permukaan berikut :

- a. Dengan adanya pori-pori mikro antar partikuler yang sangat banyak jumlahnya pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap. Selain itu distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Misalnya, ukuran 20 angstrom dapat digunakan untuk menghilangkan campuran rasa dan bau, hanya lebih efektif untuk pembersihan gas, sedangkan untuk ukuran 20-100 angstrom efektif untuk menyerap warna.
- b. Pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi karena permukaan karbon dianggap heterogen, sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang lebih aktif, yang disebut pusat aktif.

Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan ukuran pori, komposisi kimia
- b. Karakteristik fisis dan kimia adsorbat, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- d. Sistem waktu adsorpsi.

#### 2.6.2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif telah banyak diteliti, dan dalam pustaka telah didapat data yang cukup banyak. Diantaranya dituliskan bahwa karbonisasi untuk memperoleh karbon yang baik untuk diaktivasi harus dilakukan pada temperatur dibawah  $600^{\circ}\text{C}$ . Disamping itu ditemukan pula bahwa aktivasi arang dengan uap air sangat baik pada temperatur  $900-1000^{\circ}\text{C}$ , 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 temperatur 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 hidrogen 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 mengubah 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 temperatur antara  $700-1100^{\circ}C$ , atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator (Smisek, 1970). 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-kepiler yang sangat kecil, dan mengubah permukaan dalam dari struktur pori.

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

1. Aktivasi fisika, pada aktivasi ini digunakan gas pengaktif, misalnya uap air atau  $CO_2$ , yang dialirkan pada karbon hasil yang dibuat dengan metode karbonasi biasa. Pada saat ini senyawa-senyawa hasil ikutan akan hilang dan akhirnya akan memperluas hasil permukaan. Aktivasi ini dilakukan sampai derajat aktivasi cukup, yaitu sampai kehilangan berat berkisar antara 30-70%.

2. Aktivasi kimia, pada aktivasi ini bahan dikarbonisasi dengan tambahan zat pengaktif (aktivator) yang mempengaruhi jalannya pirolisis. Kemudian dicuci dengan air dan kemudian dikeringakan. 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 komposisi tar yang juga memperluas pori-pori.

Pada proses produktif karbon aktif, metode tersebut dapat dikembangkan untuk maksud tertentu.

#### **2.6.2.5 Penggunaan Karbon Aktif**

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa Fenol 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.

#### **2.6.3 Zeolit**

Istilah Zeolit berasal dari kata *zein* dalam bahasa Yunani berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Menurut wikipedia.com Zeolit adalah mineral yang

mempunyai struktur penyerap. Istilah ini diciptakan pertama kali oleh mineralogist dari Swiss. Nama ini sesuai dengan sifat Zeolit yang membuih bila dipanaskan pada suhu 100 °C.

Zeolit merupakan mineral alumino silikat yang terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. senyawa ini memiliki struktur tiga dimensi dan memiliki pori-pori yang dapat diisi dengan air. Selain itu zeolit juga memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan komponen yang terkandung serta dapat menukar berbagai jenis kation tanpa merubah struktur utama penyusunya. Terdapat lebih dari 150 tipe zeolit sintentis dan 48 dalam bentuk zeolit alam yang telah diketahui (wikipedia.com). Beberapa mineral zeolit antara lain : *anlcami*, *chabazite*, *heulandite*, *nartrolite*, *phillipsite*, dan *stilbite*. Sebagai contoh mineral dengan formula  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , untuk mineral *natrolite*.

Zeolit merupakan batuan yang secara kimia termasuk bahan silikat yang dinyatakan sebagai aluminosilat terhidrasi, yang merupakan hasil produksi sekunder, baik dari hasil pelapukan atupun sedimentasi. Batuan zeolit dengan struktur berongga sebagai suatu aluminosilat yang mempunyai struktur rongga dengan rongga-rongga di dalamnya terdapat ion-ion logam dan molekul-molekul air yang keduanya dapat bergerak sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan dihidrasi secara reversible tanpa terjadi perubahan struktur (Barrers, 1978).

Berdasarkan pada proses pembentukanya, zeolit dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Zeolit alam

Merupakan zeolit yang berasal dari proses perubahan yang terjadi di alam atau merupakan hasil tambang dari batuan vulkanik. Zeolit ini bayak dijumpai

dalam lubang lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklasik berbutir halus. Zeolit ini terbagi dalam 2 kelompok yaitu :

- zeolit yang terdapat diantara celah-celah batuan atau diantara lapisan batuan
- zeolit yang berupa batuan, jenis ini hanya sedikit diantaranya adalah: klinoptilonit, amalsit, erionit dsb.

## 2. Zeolit sintetis

Merupakan zeolit hasil sintesis rekayasa manusia secara proses kimia dan fisik. Sifat zeolit sintetis sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si, sehingga ada 3 kelompok zeolit sintetis yaitu :

- zeolit sintetis dengan kadar Si rendah
- zeolit sintetis dengan kadar Si sedang
- zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

(Bambang Puerwadi,1998).

### 2.6.3.1 Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh sebab itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai : penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator

Sifat zeolit berupa :

a. Zeolit sebagai penukar ion

Zeolit mempunyai kerangka kation dalam jaringan polimer yang bersifat mobil dan mudah dipertukarkan dengan kation lain, misalnya dalam proses pelunakan air sadah. 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. Zeolit sebagai molecular sieve mempunyai struktur kristalin prous sehingga mampu berfungsi sebagai penukar ion, karena perbedaan muatan  $Al(+3)$  dan  $Si(+4)$  menjadikan atom Al dalam kerangka kristal bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral.

b. Zeolit sebagai adsorben

Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben karena merupakan polimer anorganik yang tersusun dari satuan berulang berupa tetrahedra  $SiO_4$  dan  $AlO_4$ . Zeolit mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil dari ukuran pori zeolit, misalnya Na-Mordinet mampu menyerap metil amina dari campuran metil amina, etanol dan dietil amina. Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu  $300^0-400^0$  celcius maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap



### 2.6.3.2 Struktur Zeolit

Struktur zeolit dibentuk dari kerangka tiga dimensi tetrahedral dari  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan pada struktur tersebut  $\text{Al}^{3+}$  dapat mengganti  $\text{Si}^{4+}$ . Rumus empiris zeolit adalah :  $\text{M}_{n/2n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ .

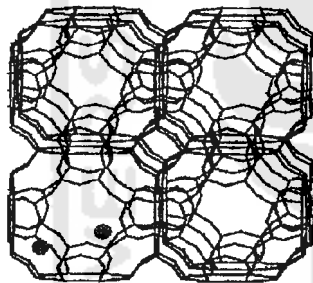
Dimana :

M = kation alkali atau alkali tanah

n = valensi ligam alkali

x = konstanta (2 s/d 10)

y = konstanta (2 s/d 7)



Gambar 2.3 Struktur molekul zeolit

sebagai contoh adalah penurunan unit klinoptilolit yang merupakan jenis umum dijumpai yaitu :  $(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ . ion  $\text{K}^{3+}$  dan  $\text{Na}^{3+}$  merupakan struktur kation dengan oksigen yang membentuk struktur tetrahedral. Molekul-molekul air yang terdapat dalam zeolit merupakan molekul yang mudah lepas. Komponen utama pembangunan struktur zeolit adalah bangunan primer  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  yang mampu membentuk struktur tiga dimensi. Muatan listrik yang dimiliki oleh kerangka zeolit, baik yang ada di permukaan maupun di dalam pori-pori menyebabkan zeolit berperan sebagai penukar ion, mengadsorpsi dan katalis.

### 2.6.3.3 Kegunaan Zeolit

#### 1. Komersial dan domestik

Zeolit digunakan bermacam-macam misalnya sebagai bed ion-exchange dalam pemurnian air untuk domestik maupun untuk komersial, softening, dan aplikasi lainnya. Dalam kimia zeolit biasa digunakan untuk memisahkan molekul-molekul, sebagai perangkap untuk molekul sehingga dapat di analisis, sebagai katalis dan sebagainya.

#### 2. Pertanian

Dalam pertanian, clinoptilolite (zeolit alam) biasa digunakan untuk pengolahan tanah.

#### 3. Kedokteran

Zeolit sebagai molecular sieve untuk mengekstrak oksigen dari udara,

#### 4. Konstruksi

Zeolit sintesis juga digunakan sebagai bahan tambahan dalam proses pencampuran beton aspal.

#### 5. dll.

### 2.6.3.4 Aktivasi Zeolit

Proses aktivasi zeolit alam dilakukan secara kimia yaitu dengan penambahan larutan kimia seperti asam (HCl) atau basa (NaOH). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi maupun kapasitas tukar ion. Pencucian dengan 0.2 M dapat menaikkan kapasitas adsorpsi dan tukar ion menjadi 250% dari semula (Bambang poerwadi,1998). Sedangkan aktifasi fisika dapat dilakukan dengan cara

pemanasan. Molekul-molekul air yang terperangkap akan terlepas pada pemanasan temperatur 150°C selama satu jam.

#### 2.6.4 Filtrasi

Filtrasi adalah proses pemisahan zat padat dari fluida (cairan maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid.

Klasifikasi filter berdasarkan tipe dari media yang digunakan dikelompokkan sebagai berikut :

1. Single media : satu jenis media. Biasanya media yang digunakan pasir silika, dan dolomite saja.
  2. Dual media : terdiri dari dua media. Biasanya yang dipakai pasir silika, dan anthrasit
  3. Multi media : terdapat tiga media. Biasanya pasir silika, anthrasit dan garnet.
- (Reynolds,1982)

Secara umum filtrasi berdasarkan kecepatan penyaringan, dibagi menjadi dua :

1. Saringan Pasir Lambat (SSF)

Saringan pasir lambat menggunakan pasir dengan diameter berkisar antara 0.15 – 0.5 mm, dan laju penyaringan sebesar 0.1 – 0.3 m/jam, dan proses yang terjadi secara fisika – biologi – biokimia dengan waktu operasi 20 – 100 hari

2. Saringan Pasir Cepat (RSF)

Saringan pasir cepat dapat menggunakan media tunggal, media ganda, atau multi media. Ukuran butiran media pasir berkisar antara 0.5 – 2.0 mm, dengan laju aliran 5 – 15 m/jam dan waktu operasi berkisar antara 1 – 3 hari.

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 pemilihan jenis pasir, sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir. Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang diperhatikan adalah :

- a. Senyawa kimia pada pasir
- b. Karakteristik fisik pasir
- c. Persyaratan kualitas pasir yang disyaratkan
- d. Jenis pasir dan ketersediaannya

#### **2.6.4.1 Susunan Kimia Pasir**

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 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 (Lewis, 1980). Proses yang terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.

#### 2.6.4.2 Karakteristik Fisik Pasir

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

- Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan / permeabilitas. Menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung, dan bundar menyudut (Lewis, 1980). 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.

- 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. Factor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size (ES)*

- 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 filtrate yang dihasilkan.

- Kekerasan pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan SiO<sub>2</sub> yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

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 yang 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 0,2 mm - 0,8 mm.

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>/detik. Diameter pasir yang dipakai 0,4 mm - 0,8 mm dengan ketebalan 0,4 m - 0,7 m. Saringan pasir lambat menghasilkan air bersih 0,034 - 0,10 liter/m<sup>3</sup>/detik. Diameter pasir yang dipakai sekitar 0,2 mm - 0,35 mm dengan ketebalan 0,6 mm - 1,2 mm. 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.



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

- a. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
- b. Suhu, Suhu yang baik yaitu antara 20-30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
- c. Kecepatan Penyaringan, Pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian ternyata, kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas effluent. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975)
- d. Diameter butiran, secara 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.

#### 2.6.4.3 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 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.

### 2.6.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terjadi pada permukaan suatu zat padat yang berkontak dengan suatu larutan dimana terjadi akumulasi molekul-molekul larutan pada permukaan zat padat tersebut.



Makin rendah kelarutan suatu zat organik di dalam air, makin mudah diadsorpsi dari larutannya. Hal yang sama, makin kurang polar suatu larutan senyawa organik makin baik teradsorpsi dari larutan yang bersifat polar ke permukaan yang non polar.

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban. Dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya. Sedangkan adsorban adalah media penyerap dalam hal ini berupa senyawa karbon.

#### **2.6.5.1 Mekanisme Adsorpsi**

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia-fisika antara substansi dengan penyerapnya. Proses perlekatan dapat saja terjadi antara cairan dan gas, padatan, atau cairan lain.

Adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan Van der Waals, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antar molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan diadsorpsi (Reynol, 1982). Sedangkan adsorpsi kimia merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorban dimana terjadi pertukaran elektron (Benefield, 1982).

Pada air buangan proses adsorpsi adalah merupakan gabungan antara adsorpsi secara fisika dan kimia yang sulit untuk dibedakan, namun demikian tidak akan mempengaruhi analisa pada proses adsorpsi. Adsorpsi terhadap air buangan mempunyai tahapan proses seperti berikut (Benefield, 1982) :

1. Transfer molekul-molekul adsorbat menuju lapisan film yang mengelilingi adsorban
2. Difusi adsorbat melalui lapisan film (*film diffusion*)
3. Difusi adsorbat melalui kapiler atau pori-pori dalam adsorban (*process pore diffusion*)
4. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorban

#### 2.6.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi adalah agitasi, karakteristik karbon aktif, ukuran molekul adsorbat, pH larutan, temperatur dan waktu kontak (Benefield, 1982).

1. Agitasi

Tingkat adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film atau difusi pori yang bergantung pada jumlah agitasi dalam system. Jika agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan relative kecil, permukaan film dari liquid sekitar partikel akan menjadi tebal dan difusi film akan terbatas.

2. Karakteristik karbon aktif

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorbat. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi. Tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif powder lebih cepat dari granular

### 3. Ukuran molekul Adsorbat

Ukuran molekul merupakan bagian yang penting dalam adsorpsi karena molekul harus memasuki micropore dari partikel karbon untuk adsorpsi. Tingkat adsorpsi biasanya meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran molekul adsorbat.

Kebanyakan limbah terdiri dari bahan-bahan campuran sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil.

### 4. pH

pH mempunyai pengaruh yang sangat besar pada proses adsorpsi, karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan. Asam organik dapat diadsorpsi dengan mudah pada pH rendah, sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi. pH optimum untuk proses adsorpsi harus didapat dari tes laboratorium.

### 5. Suhu

Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan akan menurun dengan menurunnya suhu. Karena adsorpsi merupakan proses eksoterm, maka dari itu tingkat adsorpsi umumnya meningkat sejalan dengan menurunnya suhu dan menurun pada suhu tinggi.

### 6. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama. Waktu kontak yang lama

memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi lebih baik.

### 2.6.5.3 Isotherm Adsorpsi

Data yang dikumpulkan selama pengujian adsorpsi akan menunjukkan kemampuan karbon dan akan memberikan informasi yang berharga jika dapat diterangkan dengan baik. Beberapa persamaan matematika telah dikembangkan untuk menguraikan distribusi equilibrium atau keseimbangan antara fase cair dan padat dan tujuannya untuk menjelaskan data adsorpsi. Persamaan ini diterapkan ketika tes adsorpsi dilakukan pada suhu yang konstan yang kemudian dikenal sebagai isotherm adsorpsi. Ada tiga macam persamaan isotherm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu Isotherm Langmuir, Isotherm Freundlich dan Isotherm Brunauer-Emmett-Tellet (BET) (Benefield, 1982).

#### 1. Isotherm Langmuir

$$\frac{x}{m} = \frac{abC}{1+aC} \quad (\text{pers. 2.6})$$

dimana :

- x = jumlah material adsorbat (mg atau g)
- m = berat adsorban (mg atau g)
- C = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi
- a dan b = konstanta

#### 2. Isotherm Freundlich yang merupakan suatu rumus empiris yang mewakili equilibrium adsorpsi untuk konsentrasi zat terlarut tertentu :

$$\frac{x}{m} = KC^n \quad (\text{pers. 2.7})$$

dimana :

x = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg atau g)

m = berat adsorban

C = konsentrasi larutan (mg/L)

K dan n = konstanta eksperimen

### 3. Isotherm Brunaur-Emmett-Teller (BET)

$$\frac{x}{m} = \frac{ACx_m}{(C_s - C) \left[ 1 + (A-1) \frac{C}{C_s} \right]} \quad (\text{pers 2.8})$$

dimana :

x = jumlah zat terlarut yang diadsorpsi (mg atau mol)

m = berat adsorban (mg atau g)

$x_m$  = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi dalam bentuk monolayer yang komplit (mg/g, atau mol/g)

$C_s$  = konsentrasi jenuh larutan (mg/L, mol/l)

C = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L, mol/l)

A = konstanta dari energi interaksi antara larutan dan permukaan adsorben

#### **2.6.5.4 Regenerasi Karbon**

Peremajaan karbon adalah suatu sistem dimana karbon yang telah jenuh dengan bahan-bahan organik terserap dan tidak dapat lagi dilepas oleh sistem pencucian, akan dilepas dengan memberi uap panas.

Uap panas yang diperlukan untuk melepaskan senyawa-senyawa organik terserap adalah sama besarnya panas yang dibutuhkan untuk menguapkan senyawa organik dalam proses penguapan senyawa organik suatu substansi, yaitu sebesar 1600 sampai 1800 °F (Cheremisionoff, 1978).

#### **2.7 Hipotesis**

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kombinasi proses areasi, adsorpsi, dan filtrasi dalam reaktor Aerokarbonfilter akan memberikan tingkat penurunan konsentrasi BOD dan Fenol yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit
2. Makin lama pemakaian zeolit maka akan makin jenuh.