

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Merkuri**

##### **2.1.1 Sifat-sifat Merkuri**

Merkuri merupakan elemen alami yang sering mencemari lingkungan. Kebanyakan merkuri yang terdapat di alam terdapat dalam bentuk senyawa dengan elemen lain yang jarang dijumpai dalam bentuk elemen terpisah. Komponen merkuri banyak tersebar di karang-karang, tanah, udara, air dan organisme hidup lain melalui proses fisika, kimia dan biologi yang kompleks.

Sifat-sifat kimia dan fisik membuat logam tersebut banyak digunakan untuk keperluan kimia dan industri. Beberapa sifat tersebut diantaranya adalah :

1. Merkuri merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar ( $25^{\circ}\text{C}$ ) dan mempunyai titik beku terendah di banding logam lain, yaitu  $-39^{\circ}\text{C}$ .
2. Kisaran suhu di mana merkuri terdapat dalam bentuk cair sangat lebar, yaitu  $396^{\circ}\text{C}$ , dan pada kisaran suhu ini merkuri mengembang secara merata.
3. Merkuri mempunyai volatilitas yang tertinggi dari semua logam.

4. Ketahanan listrik merkuri sangat rendah sehingga merupakan konduktor yang terbaik dari semua logam.
5. Banyak logam yang dapat larut di dalam merkuri membentuk komponen yang disebut dengan amalgam.
6. Merkuri dan komponen-komponennya bersifat racun terhadap semua makhluk hidup.

Merkuri (Hg) merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya dan beracun yang sangat membahayakan bagi kehidupan baik itu manusia maupun makhluk hidup lainnya, karena efek negatif yang ditimbulkan sebagai akibat terkontaminasi merkuri bisa menyebabkan kematian.

Adapun bentuk merkuri yang sangat berbahaya jika masuk ke tubuh manusia yaitu : (Achmad, 1992)

#### 1. Logam merkuri

Uap merkuri sangat berbahaya karena sangat beracun. Meskipun tekanan uap merkuri kecil dengan cepat uap merkuri meninggalkan permukaan merkuri yang terbuka. Uap merkuri yang terhirup segera masuk ke dalam darah. Jika sampai ke otak, akan merusak jaringan otak.

#### 2. Senyawa merkuri anorganik

Hanya senyawa merkuri yang terlarut yang menyebabkan keracunan. Merkuri anorganik cenderung berakumulasi di hati dan ginjal. Dalam jumlah yang sedikit mungkin tidak berbahaya karena dapat keluar bersama urine, namun dalam jumlah yang banyak akan sangat berbahaya.

### 3. Senyawa merkuri organik

Ada dua macam senyawa kimia organik yaitu dialkil seperti dimetil merkuri,  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , dan monoalkil seperti  $(\text{CH}_3)\text{HgX}$ , dengan X adalah halogen dan gugus nitrat. Senyawa ini dapat menumpuk di jaringan otak sehingga merusak otak.

#### 2.1.2 Pencemaran Merkuri (Hg) di Lingkungan

Logam merkuri atau air raksa mempunyai nama kimia *hydragyrum*. Pada sistem periodik unsur-unsur kimia menempati (NA) 80 dan mempunyai bobot atom (BA 200,59) (Palar, 1994).

Di samping itu merkuri merupakan logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan. Diantara semua unsur logam, merkuri (Hg) menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya dibandingkan dengan logam berat lainnya kemudian diikuti oleh logam berat lain seperti timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr) dan nikel (Ni) (Kristianto, 2002).

Pemakaian merkuri (Hg) telah berkembang sangat luas, karena merkuri (Hg) digunakan dalam bermacam-macam perindustrian dan untuk keperluan-keperluan lainnya. Demikian luasnya pemakaian merkuri juga tidak dilakukan pengolahan tentu saja akan terjadi perusakan lingkungan dan tingkat keracunan yang ditimbulkan oleh merkuri baik secara akut maupun kronis menjadi lebih besar. Di areal pertanian/pertambangan sebagian merkuri akan larut dalam air, sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah dan juga ada yang terbawa oleh aliran permukaan (*run off*) sehingga masuk ke dalam aliran perairan seperti sungai-sungai dan lain-lain.

Sebagian lagi merkuri tersebut juga akan masuk ke dalam sistem metabolisme tanaman, kemudian terakumulasi pada jaringan tanaman itu sendiri.

Air buangan dari suatu laboratorium disinyalir ternyata juga mengandung merkuri. Keadaan ini dimungkinkan karena terdapatnya senyawa merkuri dalam reagen yang banyak dipakai di laboratorium-laboratorium (Palar, 1994).

Dalam kasus keracunan di Teluk Minamata Jepang, merkuri sulfat yang digunakan sebagai katalis dalam industri vinil klorida dibuang ke laut di Teluk Minamata. Komponen merkuri tersebut di dasar laut diubah oleh mikroorganisme anaerobik menjadi  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  dan  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ . Komponen merkuri yang terakhir ini bersifat volatil dan dilepaskan dari lumpur atau pasir pada dasar laut ke air sekitarnya.  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  merupakan komponen yang stabil di dalam larutan alkali, tetapi pada kondisi asam akan berubah menjadi  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ . Ion tersebut bersifat larut di dalam air dan menggumpal di dalam organisme hidup (Kristianto, 2002).

Di udara merkuri (Hg) hampir semuanya diproduksi dengan cara pembakaran merkuri sulfida ( $\text{HgS}$ ) di udara, melalui reaksi berikut :



### 2.1.3 Metabolisme Merkuri dalam Rantai Makanan

Masuknya senyawa merkuri ke dalam tubuh organisme hidup terutama melalui makanan, karena hampir 90% dari bahan beracun ataupun logam berat merkuri masuk ke dalam tubuh melalui bahan makanan dan sisanya akan masuk secara difusi atau perembesan lewat jaringan melalui pernapasan (Palar, 1994).

Melalui jalur makanan, logam masuk melalui dua cara yaitu lewat air (minuman) dan tanaman (makanan). Jumlah merkuri yang masuk lewat minuman dapat menjadi sangat tinggi, jumlah tersebut dapat berlipat dibandingkan dengan jumlah merkuri yang masuk melalui tanaman. Hal ini dapat terjadi disebabkan logam merkuri dalam air telah mengalami perlipatgandaan dari jumlah awal yang masuk karena senyawa ion metil merkuri yang ada dalam badan perairan dimakan oleh biota perairan seiring dengan sistem rantai makanan di air. Pertama kali ion merkuri dimakan oleh mikroorganisme plankton. Plankton dimakan oleh ikan-ikan kecil, udang dan biota lainnya. Selanjutnya ikan-ikan kecil dimakan oleh ikan-ikan besar, begitu seterusnya sampai pada tingkat puncak dari rantai makanan yang ada dalam tatanan perairan. Pada pengembangan sistem rantai makanan, komponen-komponen penyusun rantai makanan merupakan paduan dari biota perairan dan organisme hidup daratan lainnya, akibatnya ikan-ikan kecil dan besar akan dimakan oleh burung-burung air. Puncak dari rantai makanan ini adalah manusia yang akan mengkonsumsi baik ikan maupun burung-burung air yang telah mengakumulasi atau terkontaminasi oleh senyawa merkuri (Palar, 1994).

#### **2.1.4 Dampak Pencemaran Merkuri Bagi Kesehatan Manusia**

Mekanisme keracunan merkuri di dalam tubuh belum diketahui dengan jelas, tetapi beberapa hal mengenai daya racun merkuri dalam jumlah yang cukup dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Semua komponen merkuri dalam jumlah yang cukup adalah racun bagi tubuh.

2. Masing-masing komponen merkuri mempunyai perbedaan karakteristik dalam daya racunnya, distribusi, akumulasi atau pengumpulan dan waktu resistensinya di dalam tubuh.
3. Transformasi biologi dapat terjadi di dalam lingkungan atau di dalam tubuh dimana komponen merkuri diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain.
4. Pengaruh merkuri di dalam tubuh diduga karena dapat menghambat kemampuan kerja enzim dan mengakibatkan kerusakan sel yang disebabkan kemampuan merkuri untuk terikat dengan grup yang mengandung sulfur di dalam molekul yang terdapat di dalam enzim dan dinding sel. Keadaan ini mengakibatkan penghambatan aktifitas enzim dan reaksi kimia yang dikatalisasi oleh enzim tersebut.
5. Kerusakan tubuh yang disebabkan oleh merkuri biasanya bersifat permanen dan sampai saat ini belum dapat disembuhkan.

Merkuri anorganik mempunyai tendensi untuk terakumulasi di dalam jaringan hati dan ginjal. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan tersebut, akan tetapi pembuangan ke luar tubuh juga lebih cepat melalui sistem urine (Kristianto, 2002).

Dalam penyebaran senyawa merkuri organik dalam organ tubuh, biasanya berbeda-beda tergantung pada jenis organnya namun demikian secara umum membutuhkan waktu sampai empat hari untuk mencapai keseimbangan. Metil merkuri pada umumnya terakumulasi pada sistem jaringan syaraf pusat. Akumulasi paling tinggi ditemukan pada bagian *cortex* dan *cerebellum*, yaitu merupakan bagian-

bagian otak. Lebih lanjut hanya sekitar 10% dari merkuri tersebut yang ditemukan dalam sel otak.

Pada wanita hamil yang terpapar oleh senyawa alkali merkuri dapat menyalurkan senyawa tersebut pada janin yang dikandungnya. Senyawa alkali merkuri tersebut masuk bersama makanan melalui plasenta karena dibawa oleh peredaran darah ke janin, sehingga pada saat lahir bayi menjadi cacat.

Dari penelitian yang pernah dilakukan dapat diketahui bahwa konsentrasi merkuri yang mencapai  $20\mu\text{g/l}$  yang terdapat dalam daerah wanita hamil selama satu bulan telah dapat mengakibatkan kerusakan pada otak janin yang dikandungnya.

Sementara itu pada wanita-wanita menyusui yang terpapar oleh senyawa metil merkuri dapat mengakibatkan susu yang dikeluarkannya terkontaminasi oleh metil merkuri. Keadaan ini menjadi salah satu jalur dari proses keracunan merkuri pada bayi-bayi yang disusui (Palar, 1994).

## **2.2 Karbon Aktif (Arang Aktif)**

Karbon aktif digunakan pertama kali pada pengolahan air dan air limbah untuk mengurangi material organik, rasa, bau dan warna (Culp, RL dan Culp, GL, 1986). Karbon aktif juga sering digunakan untuk mengurangi kontaminan organik, partikel kimia organik sintetis (SOCs), tapi karbon aktif juga efektif untuk mengurangi kontaminan inorganik seperti radon-222, merkuri, dan logam beracun lainnya (Ronald L, 1997).

Karbon aktif terdiri dari berbagai mineral yang dibedakan berdasarkan kemampuan adsorpsi (daya serap) dan karakteristiknya. Sumber bahan baku dan proses yang berbeda akan menghasilkan kualitas karbon aktif yang berbeda. Sumber bahan baku karbon aktif berasal dari kayu, batu bara, arang tempurung kelapa, lignite. (Ronald L, 1997).

Saat ini, arang aktif telah digunakan secara luas dalam industri kimia, makanan/minuman dan farmasi. Pada umumnya arang aktif digunakan sebagai bahan penyerap, dan penjernih. Dalam jumlah kecil digunakan juga sebagai katalisator (lihat tabel 2.1).

Tabel 2.1 Manfaat arang aktif untuk zat cair

<b>Maksud/Tujuan</b>	<b>Pemakaian</b>
1. Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak enak pada makanan
2. Minuman ringan, 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, asetat dan lain-lain

Sumber: <http://www.warintek.net>

Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Guarino (1988) menunjukkan bahwa karbon aktif bentuk *granular* dapat menurunkan kadar merkuri dalam limbah



petrokimia yang konsentrasi awalnya 1,5 dan 1,7  $\mu\text{g/l}$  berhasil dikurangi menjadi 0,8 dan 0,9  $\mu\text{g/l}$ . Ini dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Hasil pengolahan merkuri dengan karbon aktif

Activated Carbon Type	Mercury Concentration ( $\mu\text{g/l}$ )		Percent Removal	Additional Treatment	Other Conditions	Reference
	Initial	Final				
PAC	10,000	4,000	60	None	SW, BS	Humenick et al., 1974
PAC	10,000	0.2	>99.99	5 $\mu\text{m}$ filtration, PAC presoaked in $\text{CS}_2$ and dried	SW, BS	Humenick et al., 1974
PAC	2,000	NA	-100	Centrifugation or 0.45 $\mu\text{m}$ filtration	SW, BS	Huang and Blankenship, 1984
PAC	10	NA	-80	0.45 $\mu\text{m}$ filtration	SW, BS	Thiem et al., 1976
PAC	1.0	0.5	50	Settling	PW, BS	Guarino et al., 1988
GAC	0-100	<1.0	>41	None	SF, FS	E.C. Jordan Co., 1989
GAC	1.7	0.9	47	Filtration	PW, BS	Guarino et al., 1988
	1.5	0.8	47			

- PAC = Powdered activated carbon  
 GAC = Granular activated carbon  
 BS = Bench scale  
 SW = Synthetic wastewater  
 PW = Petrochemical wastewater  
 SF = Superfund wastewater  
 FS = Full scale  
 NA = Not available

Sumber : E. P. A, 1997

### 2.2.1. Syarat Mutu Arang Aktif

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

Tabel 2.3 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 I2	%	Maksimum 20

Sumber: <http://www.warintek.net>

Tempurung kelapa merupakan bahan yang baik sekali untuk dibuat arang aktif yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap (*adsorbant*). Selain karena kekerasannya juga karena bentuknya yang tidak terlalu tebal sehingga memungkinkan proses penyerapan berlangsung secara merata.

### 2.2.2 Proses Pembuatan

Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa terdiri dari 2 tahapan, yaitu :

1. Proses pembuatan arang dari tempurung kelapa
2. Proses pembuatan arang aktif dari arang

Rendemen arang aktif dari tempurung kelapa sekitar 25% dan tar 6%

1. Pembuatan arang dari tempurung kelapa bahan baku:

Kebutuhan tempurung kelapa 1 ton/hari. Tempurung kelapa harus yang sudah tua, kayunya keras, kadar air rendah, sehingga dalam proses pengarangan, pematangannya akan berlangsung baik dan merata. Jika kadar air tinggi berarti kelapa belum cukup tua, proses pengarangan akan berlangsung lebih lama.

2. Proses pembuatan arang aktif dari arang. Proses pembuatan arang aktif dilakukan dengan cara "Destilasi kering" yaitu pembakaran tanpa adanya oksigen pada temperatur tinggi. Untuk kegiatan ini dibutuhkan *prototype* tungku aktivasi (alat destilasi) yang merupakan kisi-kisi tempat arang yang diaktifkan dengan kapasitas 250 kg arang. Proses aktivasi dilakukan hanya dengan mengontrol temperatur selama waktu tertentu (<http://www.warintek.net>)

Material karbon diaktifkan melalui beberapa proses antara lain :

1. Menghilangkan kadar air (dehidrasi)
2. Mengubah bahan-bahan organik menjadi karbon dasar ; menghilangkan bagian-bagian nonkarbon (*carbonization*)
3. Pembakaran arang dan pembesaran pori (aktifasi)

Untuk menghilangkan kadar air material dipanaskan pada suhu 170°C kemudian temperatur dinaikkan di atas 170°C untuk menghilangkan bagian-bagian non karbon dalam keadaan hampa udara.

Aktivasi material diikuti oleh penggunaan uap panas atau karbondioksida sebagai pengaktif, karbon dibakar pada suhu 750-950°C guna memperbesar jaringan pori (Cheremisinoff, 1978).

### **2.2.3 Karakteristik Karbon Aktif**

Ada beberapa karakteristik yang penting di dalam pengolahan air limbah diantaranya luas permukaan, kerapatan partikel, densitas unggun (*bulk density*),

ukuran efektif, volume pori, analisa ayakan, kadar abu, angka iodium, kadar air dan distribusi ukuran pori (Culp, RL dan Culp, GL, 1986).

Tabel 2.4 Karakteristik dari beberapa karbon aktif granular komersil

Karakteristik Fisik	ICI American Hydrodargo 3000	Calgon Filtrasorb 300 (8x30)	Westvaco Nuchar WV-L (8x30)	Witco 517 (12x30)
Luas permukaan total, m <sup>2</sup> /g	600-650	950-1500	1000	1050
Densitas unggun (bulk density), lb/ft <sup>3</sup>	22	26	26	30
Densitas partikel (kondisi basah), g/cm <sup>3</sup>	1,4-1,5	1,3-1,4	1,4	0,92
Ukuran efektif, mm	0,8-0,9	0,8-0,9	0,85-1,05	0,89
Koefisien keseragaman	1,7	≤ 1,9	≤ 1,8	1,44
Ukuran ayak (US standar)				
> No. 8	maks. 8 %	maks. 8 %	maks. 8 %	c
< No. 30	maks. 5 %	maks. 5 %	maks. 5 %	maks. 5 %
Diameter partikel rata-rata, mm	1,6	1,5-1,7	1,5-1,7	1,2
Angka iodium	min. 650	min. 900	min. 950	min. 1000
Angka abrasi	b	min. 70	min. 70	min. 85
Kadar abu	b	maks. 8 %	maks. 7,5 %	maks. 0,5 %
Kadar air	b	maks. 2 %	maks. 2 %	maks. 1 %

Keterangan :

b : tidak ada data dari pabrik

c : tidak dapat diaplikasikan untuk ukuran karbon ini

Sumber : (Culp, RL dan Culp, GL, 1986)

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan hal yang penting dalam karbon aktif. Ukuran partikel karbon aktif mempengaruhi kecepatan adsorpsi, tetapi tidak mempengaruhi kapasitas adsorpsi yang berhubungan dengan luas permukaan karbon (Cheremisinoff, 1978). Jadi kecepatan adsorpsi yang menggunakan karbon aktif serbuk (*powder*) lebih besar daripada karbon aktif butiran (*granular*). Luas permukaan total mempengaruhi kapasitas adsorpsi total sehingga meningkatkan efektifitas karbon aktif dalam penyisihan senyawa organik dalam air buangan.

Ukuran partikel tidak terlalu mempengaruhi luas permukaan total sebagian besar meliputi pori-pori partikel karbon. Struktur pori-pori karbon aktif mempengaruhi perbandingan antara luas permukaan dan ukuran partikel.

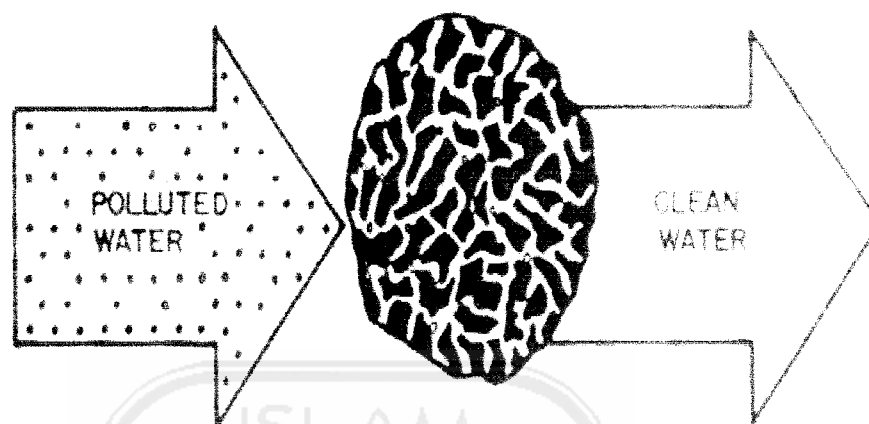
Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk di adsorp. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam *micropore* sehingga membuat area permukaan yang tersedia untuk mengadsorp menjadi sia-sia. Karena bentuk molekul yang tidak beraturan dan pergerakan molekul yang konstan, pada umumnya molekul yang lebih kecil dapat menembus kapiler yang ukurannya lebih kecil juga.

Karena adsorpsi merupakan proses masuknya molekul ke dalam pori-pori, menyebabkan proses adsorpsi karbon bergantung pada karakteristik fisik karbon aktif dan ukuran molekul adsorbat (Cheremisinoff, 1978).

Ada dua macam pori dalam partikel karbon aktif yaitu *mikropore* dan *makropore*. Diameter pori-pori tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Pori-pori makro dengan diameter  $>1000\text{\AA}$
2. Pori-pori mikro dengan diameter  $10-1000\text{\AA}$ .

(Cheremisinoff, 1978)



Gambar 2.1 Konsep Adsorpsi pada Permukaan Pori Karbon Aktif  
(Cheremisinoff, 1978)

Setelah aktivasi karbon, karbon aktif bisa diklasifikasikan menjadi dua jenis yang mempunyai ukuran partikel yang berbeda dengan kapasitas adsorpsi yang berbeda pula, yakni *powder*: jika ukuran diameter karbon aktif lebih kecil dari 200 mesh dan *granular* jika diameter karbon aktif berukuran lebih besar dari 0,1mm. (Metcalf dan Eddy, 1991)

Dalam pengolahan air minum atau air limbah karbon aktif bubuk dan karbon aktif *granular* mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing (Supranto, 1988).

Penggunaan bubuk karbon aktif mempunyai kelebihan sebagai berikut:

1. Sangat ekonomis karena ukuran butir yang kecil dan luas permukaan kontak persatuan berat sangat besar.

2. Kontak menjadi sangat baik dengan mengadakan pengadukan cepat dan merata.
3. Tidak memerlukan tambahan alat lagi karena karbon akan mengendap bersama lumpur yang terbentuk.
4. Kemungkinan tumbuhnya mikroorganisme sangat kecil.

Adapun kerugiannya ialah:

1. Penanganan karbon aktif, karena berbentuk bubuk yang sangat halus. Kemungkinan mudah terbang terbawa angin, sulit tercampur dengan air dan mudah terbakar.
2. Karena tercampur dengan lumpur, maka sulit diregenerasi dan biaya operasinya mahal.
3. Kemungkinan terjadi penyumbatan lebih besar, karena karbon aktif bercampur dengan lumpur.

Kelebihan dari pemakaian karbon aktif *granular*:

1. Pengoperasian mudah karena air mengalir dalam media karbon.
2. Proses berjalan cepat karena ukuran butiran karbonnya lebih besar.
3. Karbon aktif tidak bercampur dengan lumpur sehingga dapat diregenerasi.

Kerugiannya:

1. Perlu tambahan unit pengolah lagi, yaitu filter.
2. Luas permukaan kontak persatuan berat lebih kecil karena ukuran butiran karbon besar.

## 2.3 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 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 merupakan media penyerap dalam hal ini berupa senyawa karbon.

### 2.3.1 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 penyerapannya. 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 antara molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan dapat diadsorpsi



(Reynold, 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.

### **2.3.2 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 sistem. Jika agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan relatif kecil, permukaan film dari *liquid* sekitar partikel akan menjadi tebal dan difusi film akan terbatas.

## 2. Karakteristik karbon Aktif

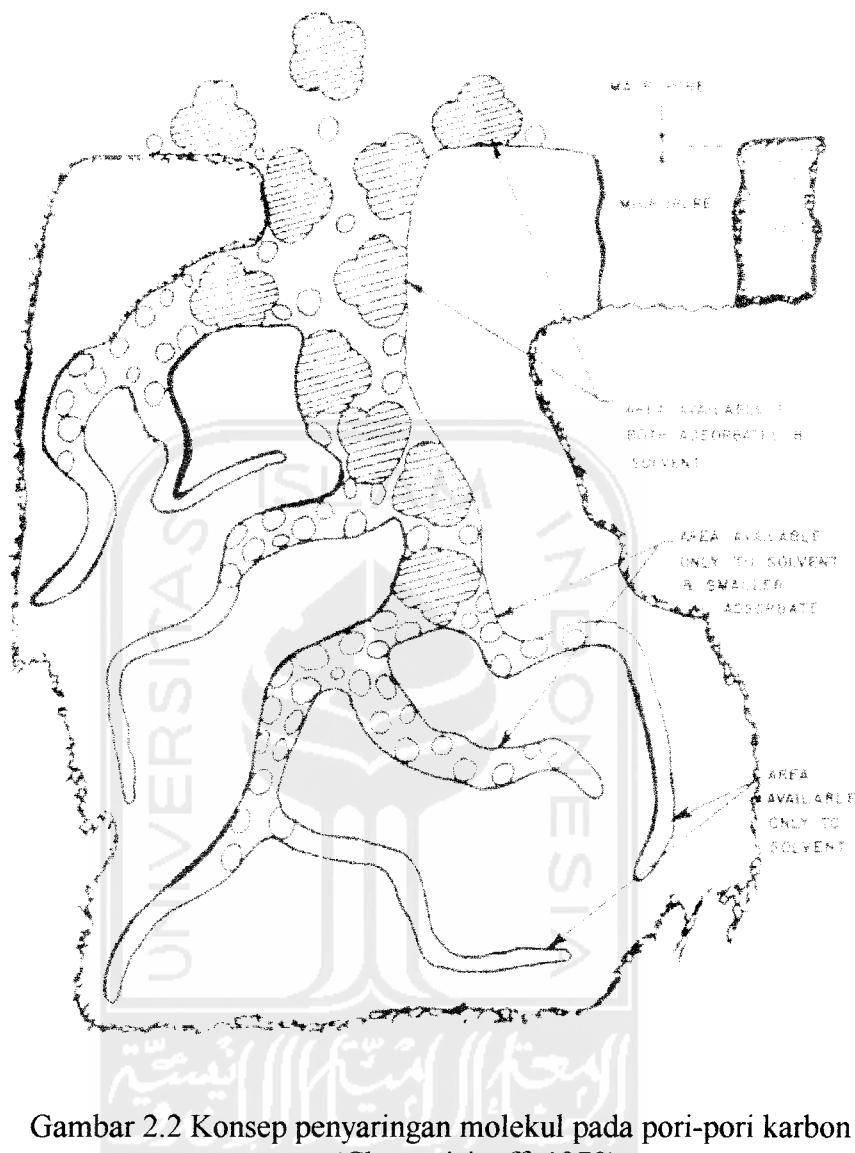
Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi ; tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif *powder* lebih cepat dari pada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

Total kapasitas adsorpsi tergantung pada total luas permukaan dimana ukuran partikel karbon tidak berpengaruh besar pada total luas permukaan karbon.

## 3. Ukuran molekul Adsorbat

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

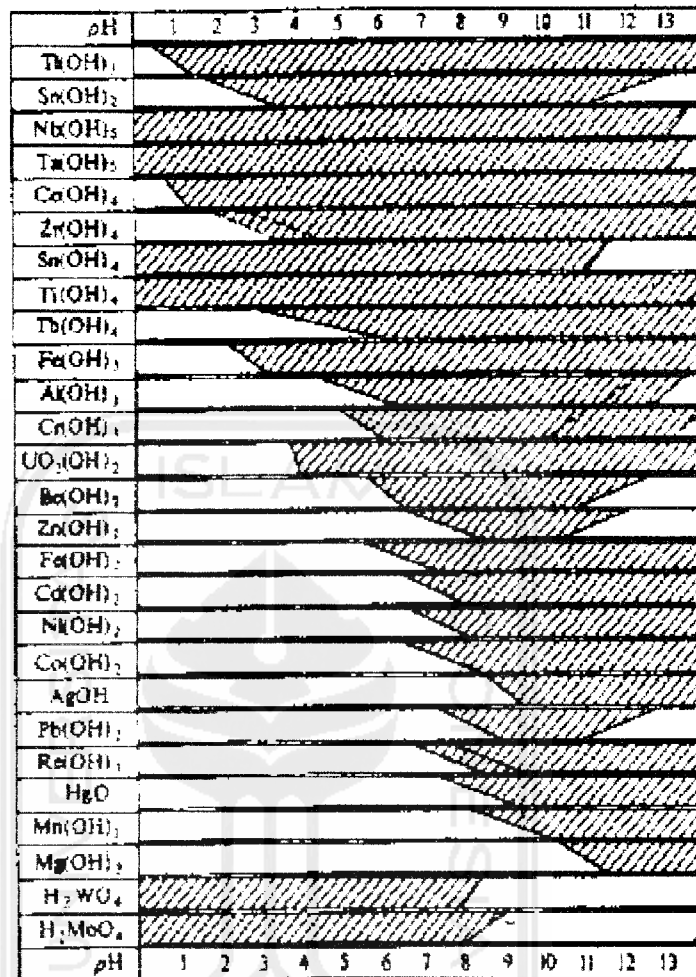
Kebanyakan limbah terdiri dari bahan-bahan campuran sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil. Posisi dari variasi ukuran molekul selama terjadinya adsorpsi dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini



Gambar 2.2 Konsep penyaringan molekul pada pori-pori karbon aktif (Cheremisinoff, 1978)

#### 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.



Gambar 2.3 Grafik Endapan Hidroksida Logam  
(Vogel, 1979)

Pada gambar 2.3, daerah yang diberi bayang-bayang dalam setiap grafik menunjukkan daerah pH dalam mana endapan terbentuk; daerah yang dibiarkan putih sesuai dengan kondisi pada mana ion-ion ada dalam fase terlarut. Ujung atas garis-garis miring, yang ditarik sebagai garis-garis batas, sesuai dengan larutan yang

mengandung  $10^{-2}$  mol  $l^{-1}$  ion logam, ini adalah nilai pH pada mana pengendapan mulai (Vogel, 1979)

Efisiensi penurunan Hg akan bertambah dari 70-100% seiring dengan meningkatnya pH dari 2-10 ([www.ingentaconnect.com](http://www.ingentaconnect.com))

#### 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 yang 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 berlangsung lebih baik.

### 2.4 Isotherm Adsorpsi

Data yang dikumpulkan selama pengujian adsorpsi akan menunjukkan kemampuan karbon dan akan memberi informasi yang berharga jika dapat diterangkan dengan baik. Beberapa persamaan matematika telah dikembangkan untuk menguraikan distribusi *equilibrium* 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 Brunaur-Emmett-Teller (BET) (Benefield, 1982).

### 1. Isotherm Langmuir

$$\frac{x}{m} = \frac{abc}{1+ac} \quad (\text{pers.2})$$

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 :

$$\frac{x}{m} = KC^{1/n} \quad (\text{pers.3})$$

dimana :

- x = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg, g)
- m = berat adsorban
- C = konsentrasi larutan (mg/l)
- K dan n = konstanta eksperimen

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

$$\frac{x}{m} = \frac{ACx_m}{(C_s - C) \left[ 1 + (A - 1) \frac{C}{C_s} \right]} \quad (\text{pers. 4})$$

Dimana :

$x$  = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg atau mol)

$m$  = berat adsorban (mg atau g)

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

### 2.5 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 dengan besarnya panas yang dibutuhkan untuk menguapkan senyawa organik dalam proses penguapan senyawa organik suatu substansi, yaitu sebesar 1600 sampai 1800°F (Cheremisinoff, 1978).

## 2.6 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka, karbon aktif dapat mengadsorb Hg dalam air limbah, sehingga kadar Hg dalam air limbah menjadi lebih kecil.

Hipotesa penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karbon aktif dari arang tempurung kelapa dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi limbah Hg. Efisiensi penurunan Hg akan bertambah seiring dengan meningkatnya pH.
2. Semakin lama waktu operasi reaktor maka karbon aktif tempurung kelapa semakin jenuh.

