

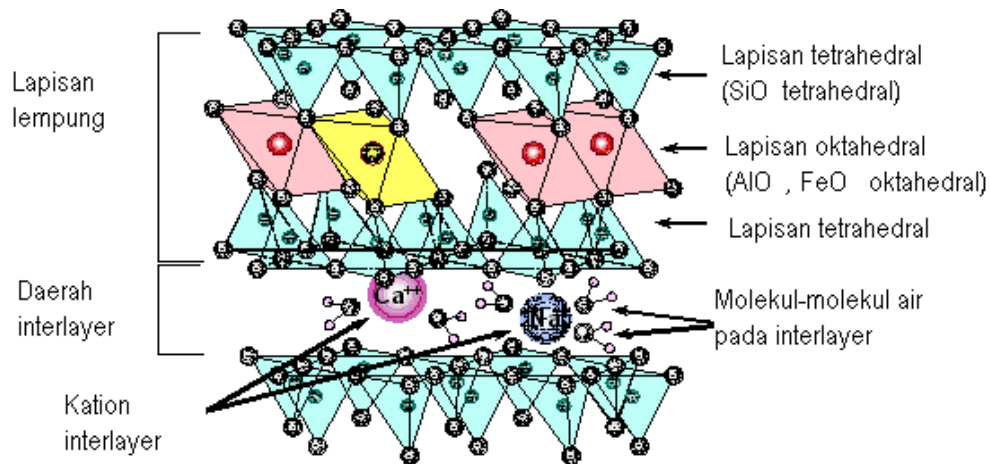
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Bentonit

Bentonit adalah istilah untuk lempung yang terdiri atas mineral monmorilonit sebagai kandungan utamanya. Kandungan monmorilonit pada bentonit berkisar antar 70-80%. Oleh karena itu bentonit sering disebut sebagai nama dagang dari monmorilonit. Selain monmorilonit, kandungan mineral lain dalam bentonit antara lain berupa mineral kaolinit, illit, kuarsa, plagioklas, kristobalit, dan sebagainya (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, 2005).

Bentonit merupakan lempung dari golongan smektit yang memiliki rumus kimia  $(OH)_4Si_8Al_4O_{20} \cdot xH_2O$ . Struktur atom monmorilonit terdiri atas lapisan oktahedral dari alumina yang diapit oleh lapisan tetrahedral silika. Pada lapisan tetrahedral, terjadi substitusi isomorfik antara  $Si^{4+}$  dengan  $Al^{3+}$ , sedangkan pada bagian oktahedral Al dapat disubstitusikan oleh Fe atau Mg. Substitusi isomorfik yang terjadi pada lapisan tetrahedral maupun pada lapisan oktahedral menyebabkan monmorilonit relatif bermuatan negatif dan muatan dari monmorilonit ini akan distabilkan oleh kation yang terdapat di bagian interlayer (Díaz, 2001, Alemdar *et al.*, 2005).



**Gambar 2.1.** Struktur Monmorilonit (Othmer, 2005)

Kation yang biasanya dipertukarkan pada permukaan monmorilonit khususnya adalah  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ . Adanya kation yang dapat dipertukarkan ini memungkinkan bentonit memisahkan logam berat dari air, juga memisahkan senyawa organik kationik melalui mekanisme pertukaran ion. Reaksi pertukaran ion ini bersifat stoikiometri. Selain kation anorganik, kation organik juga ternyata mampu dipertukarkan menggantikan kation anorganik. Hasil penelitian terakhir menunjukkan bahwa adanya kation organik menyebabkan kinerja bentonit meningkat terutama sebagai adsorben senyawa-senyawa organik (Groisman *et.al.*, 2002, Patimah, 2006, Aldiantono, 2009).

Berdasarkan kandungan aluminium silikat hidrat bentonit dibagi menjadi 2 golongan, yaitu *activated clay* dan *fuller's Earth*. *Activated clay* adalah lempung yang kurang memiliki daya pemucat, tetapi daya pemucatnya dapat ditingkatkan melalui pengolahan tertentu. Sementara itu, *fuller's earth* digunakan di dalam *fulling* atau pembersih bahan *wool* dari lemak. Sedangkan berdasarkan tipenya, bentonit dibagi menjadi dua, yaitu tipe Wyoming (Na-bentonit/*Swelling bentonite*) dan Mg atau Ca-bentonit (*non swelling bentonite*).

Tipe Wyoming (Na-bentonit–Swelling bentonite) memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering Na-bentonit berwarna putih atau cream, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Suspensi koloidal Na-bentonit mempunyai pH: 8,5-9,8 dan tidak dapat diaktifkan, karena posisi pertukaran diduduki oleh ion-ion sodium ( $\text{Na}^+$ ).

Tipe yang kedua adalah Mg atau Ca-bentonit (non swelling bentonite). Tipe bentonit ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi di dalam air, tetapi secara alami atau setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Suspensi koloidal Ca-bentonit memiliki pH: 4-7. Posisi pertukaran ion lebih banyak diduduki oleh ion-ion kalsium dan magnesium. Dalam keadaan kering bersifat rapid slaking, berwarna abu-abu, biru, kuning, merah dan coklat. Penggunaan bentonit dalam proses pemurnian minyak goreng perlu aktivasi terlebih dahulu. Di Indonesia, Beberapa lokasi yang sudah dan sedang dieksploitasi untuk pengambilan bentonit adalah di Tasikmalaya, Leuwiliang, Nanggulan, dan lain-lain. Sedangkan indikasi endapan Na-bentonit terdapat di Pangkalan Brandan; Sorolangun-Bangko; Boyolali. (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, 2005). Komposisi kimia bentonit secara umum ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia bentonit

Senyawa	%
SiO <sub>2</sub>	66,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,26
CaO	1,44
MgO	2,72
TiO <sub>2</sub>	0,90
Na <sub>2</sub> O	2,34
Lain-lain	0,94

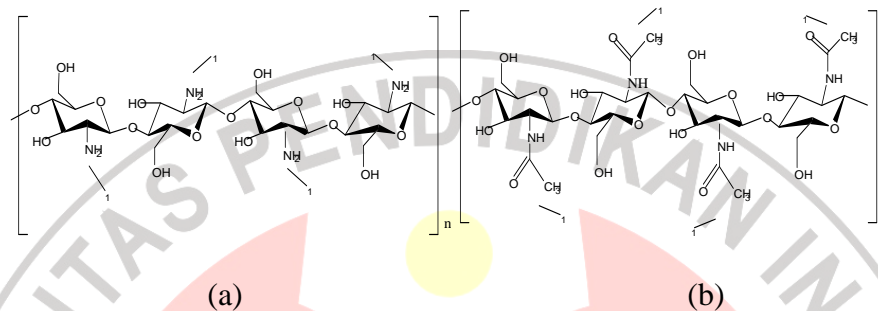
(Correa, Karen S.M. *et al.*, 2007)

## 2.2 Kitosan

Kitosan termasuk kelompok senyawa polisakarida. Senyawa-senyawa lain yang termasuk kelompok polisakarida dan sudah tidak asing bagi kita adalah zat pati (tepung) dan selulosa (komponen serat dari dinding sel tumbuhan). Polisakarida-polisakarida ini berbeda dalam hal jenis monosakarida penyusunnya dan cara monosakarida-monosakarida tersebut berikatan membentuk polisakarida.

Kitosan yang disebut juga dengan  $\beta$ -1,4-2 amino-2-dioksi-D-glukosa merupakan turunan dari kitin yang diperoleh melalui proses deasetilasi. Kitosan juga merupakan suatu polimer multifungsi karena mengandung tiga jenis gugus fungsi yaitu asam amino, gugus hidroksil primer dan sekunder. Adanya gugus fungsi ini menyebabkan kitosan mempunyai kreatifitas kimia yang tinggi (Tokura, 1995).

Struktur kimia kitosan hampir mirip dengan struktur kimia kitin. Perbedaannya adalah pada kandungan gugus asetilnya. Kitin masih memiliki gugus asetil sedangkan kitosansudah tidak memiliki gugus asetil. Adapun struktur kimia kitosan secara umum terlihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.2.** Struktur (a) Kitosan, (b) Kitin (Mrunal R. Thatte, 2004)

Kitosan merupakan senyawa biopolimer dengan masa molekul yang tinggi. Proses utama pembuatan kitosan meliputi penghilangan protein dan kandungan mineral melalui proses kimiawi yang disebut deproteinasi dan demineralisasi yang masing-masing menggunakan larutan basa dan asam. Selanjutnya kitosan diperoleh melalui proses deasetilasi dengan cara memanaskan kitin dalam larutan basa. Pada proses deasetilasi ini gugus-gugus asetil pada senyawa kitin hilang dengan penambahan larutan basa, sehingga pada senyawa kitosan tidak terdapat lagi gugus asetil (Qilin li, 2005, Lopes, 2007).

Adanya gugus amina menjadikan kitosan bermuatan parsial positif. Hal ini menyebabkan kitosan dapat larut dalam larutan asam sampai netral. Selain itu, muatan positif tersebut menyebabkan kitosan dapat menarik molekul-molekul yang bermuatan parsial negatif seperti minyak, lemak, dan protein. Sifat inilah yang kemudian menjadikan kitosan banyak dimanfaatkan.

### 2.3 Kitosan-bentonit

Kitosan-bentonit merupakan salah satu contoh organo-bentonit, yaitu hasil pemodifikasian atau pengaktifasian mineral bentonit dengan menggunakan kation-kation organik dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi bentonit. Pada umumnya kation-kation organik yang sering digunakan merupakan suatu amina kuarterner yang mengandung ion nitrogen, seperti HDTMA (*Hexadecyltrimethylammonium*), TMA (*Trimethylammonium*), TMPA (*Trimethylphenylammonium*), dan ada pula kation dari polimer organik seperti contohnya kation dari kitosan (Jong Hyok An, 2006). Organo-bentonit diperoleh dengan cara mempertukarkan kation anorganik (seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ) pada daerah internal dan eksternal permukaan mineral bentonit dengan kation organik. Modifikasi bentonit dengan senyawa organik dilakukan untuk meningkatkan kinerjanya dalam mengadsorpsi senyawa organik dalam air minum (Akçay, *et al.*, 1999).

Kation kitosan telah berhasil diimobilisasikan terhadap bentonit, dan memiliki kinerja yang baik dalam mengadsorpsi senyawa organik. Adsorben kitosan-bentonit dapat mengadsorpsi senyawa organik seperti diazinon dengan persen adsorpsi rata-rata sebesar 79,04% (Aldiantono, 2009).

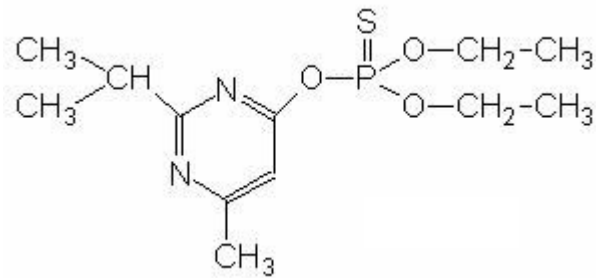
### 2.4 Pestisida Diazinon

Pestisida adalah bahan kimia yang digunakan untuk mengontrol, menolak, atau menarik atau membunuh pes (hama) yang dianggap mengganggu. Pengelompokan pestisida dibedakan menjadi :

- a. Berdasarkan hewan target: pestisida dibedakan menjadi insektisida, fungisida, rodentisida, herbisida, akarisida, dan bakterisida.
- b. Berdasarkan senyawa aktif: pestisida digolongkan menjadi kelompok organoklor, organo fosfat dan organo karbamat.
- c. Berdasarkan jenis bahan penyusunnya: pestisida dibedakan menjadi pestisida alami dan pestisida sintesis.

Pestisida banyak dimanfaatkan dalam bidang pertanian dan perkebunan terutama difungsikan untuk mengendalikan pertumbuhan tanaman akibat gangguan hama. Namun pada kenyataannya, pemakaian pestisida pada dosis yang berlebihan menimbulkan efek samping terhadap lingkungan, diantaranya terdapat akumulasi pestisida pada berbagai makhluk hidup melalui rantai makanan yang berdampak membahayakan terhadap kesehatan dan keselamatan makhluk hidup.

Salah satu jenis pestisida yang paling banyak digunakan di bidang pertanian adalah diazinon. Diazinon merupakan pestisida jenis organofosfat yang sudah berkembang pada awal tahun 1950-an. Nama kimia diazinon yaitu O,O-dietil O-2-isopropil-6-metil(pirimidin-4-il) posporotionat, sedangkan nama lain dari diazinon yaitu Knox-Out, dianon, Basudin. Diazinon akan bersifat sebagai racun bila kontak dengan saluran pencernaan dan pernafasan. Bersama dengan pestisida jenis organofosfat lainnya, diazinon akan menghambat kerja dari enzim acetylcholinesterase (enzim esensial yang berfungsi untuk menormalkan transmisi impulse pada syaraf). Selain itu diazinon juga dapat menyebabkan gangguan pernafasan, iritasi mata, dan iritasi kulit (Laada, 1998).



**Gambar 2.3.** Struktur Diazinon (*Stuart M bennet, 2001*)

Diazinon sering digunakan oleh para petani di Indonesia karena tidak menetap lama di dalam tanah, hal ini disebabkan oleh degradasinya yang sangat cepat baik secara kimia maupun biologi. Waktu paruh diazinon dalam tanah bervariasi mulai dari 2 sampai 4 minggu, tergantung tipe tanah, aktivitas mikroorganisme, kandungan air dan konsentrasi pestisida. Waktu paruh diazinon dalam air yang asam adalah kurang dari 12 jam, sedangkan dalam air yang netral waktu paruh diazinon bisa mencapai 6 bulan. Waktu paruh diazinon pada tanaman berkisar dari 2 sampai 14 hari (Stuart M bennet, 2001).

### 2.5 Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari  $5\text{gr/cm}^3$ , mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7. Sebagian logam berat seperti kadmium (Cd) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tidak aktif. Gugus karboksilat ( $-\text{COOH}$ ) dan amina ( $-\text{NH}$ ) juga bereaksi dengan logam berat (Manahan, 1977).

Menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut



$\text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ag}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{As}^{2+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Sn}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ . Sedangkan menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe. Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (PPLH IPB, 1997) yaitu :

- a. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
- b. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
- c. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

### 2.5.1 Besi (Fe)

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi merupakan logam berat dengan toksisitas rendah, namun dalam konsentrasi tinggi, besi juga dapat menyebabkan

gangguan pada tubuh. Besi memiliki banyak manfaat dalam tubuh terutama dalam peranannya sebagai mikro mineral yang dibutuhkan oleh tubuh. Sekitar 60 persen Fe yang diabsorpsi usus digunakan untuk membuat hemoglobin (Hb), 20 persen lainnya untuk membuat mioglobin otot, dan 20 persen lagi disalurkan ke dalam hati, limpa, dan sumsum tulang (Yatim, 2009).

Kelebihan besi jarang terjadi karena makanan, tetapi kelebihan besi dapat terjadi karena suplemen makanan dan juga air yang mengandung cemaran besi dalam konsentrasi tinggi. Berdasarkan PP no 20 tahun 1990 tentang pengendalian pencemaran air, kadar besi yang diperbolehkan terdapat dalam air minum adalah 5mg/L. Kelebihan besi dalam tubuh dapat memicu reaksi oksidatif dalam tubuh (Almatsier, 2006).

### **2.5.2 Kadmium(Cd)**

Kadmium dalam air berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Logam ini sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, dalam penyepuhan listrik, pada pembuatan alloy, dan baterai alkali. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjer pencernaan serta mengakibatkan kerapuhan pada tulang (Clarkson, 1988, Saeni, 1997).

Dalam industri pertambangan logam Pb dan Zn, proses pemurniannya akan selalu diperoleh hasil samping kadmium yang terbuang ke alam lingkungan. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Sebagian besar Cd masuk melalui saluran pencernaan, tetapi

keluar lagi melalui feses sekitar 3-4 minggu kemudian dan sebagian kecil dikeluarkan melalui urin. Kadmium dalam tubuh terakumulasi dalam ginjal dan hati terutama terikat sebagai metalothionein. Metalothionein mengandung asam amino sistein, dimana Cd terikat dengan gugus sulfhidril (-SH) dalam enzim karboksil sisteinil, histidil, hidroksil dan fosfatil dari protein dan purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas Cd disebabkan oleh interaksi antara Cd dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim (Darmono, 1995)

Kadmium lebih beracun bila terhisap melalui saluran pernafasan daripada saluran pencernaan. Kasus keracunan akut kadmium kebanyakan dari menghisap debu dan asap kadmium, terutama kadmium oksida (CdO). Dalam beberapa jam setelah menghisap, korban akan mengeluh gangguan saluran nafas, muntah, kepala pusing dan sakit pinggang. Kematian disebabkan karena terjadinya edema paru-paru. Apabila pasien tetap bertahan, akan terjadi emfisema atau gangguan paru-paru yang jelas terlihat.

Keracunan kronis terjadi bila memakan atau inhalasi dosis kecil Cd dalam waktu yang lama. Gejala akan terjadi setelah selang waktu beberapa lama dan kronik. Kadmium pada keadaan ini menyebabkan nefrotoksisitas, yaitu gejala proteinuria, glikosuria, dan aminoasidiuria disertai dengan penurunan laju filtrasi glomerulus ginjal. Kasus keracunan Cd kronis juga menyebabkan gangguan kardiovaskuler dan hipertensi. Hal tersebut terjadi karena tingginya afinitas jaringan ginjal terhadap kadmium. Gejala hipertensi ini tidak selalu dijumpai pada kasus keracunan Cd kronis. Kadmium dapat menyebabkan osteomalasea karena

terjadinya gangguan daya keseimbangan kandungan kalsium dan fosfat dalam ginjal. Keracunan Cd kronik ini dilaporkan didaerah Toyama, sepanjang sungai Jinzu di Jepang, yang menyebabkan penyakit *Itai-iatai* pada penduduk wanita umur 40 tahun keatas (Manahan, 1990).

### 2.5.3 Tembaga(Cu)

Tembaga merupakan logam yang ditemukan di alam dalam bentuk senyawa dengan sulfida (CuS). Tembaga sering digunakan pada pabrik-pabrik yang memproduksi peralatan listrik, gelas, dan alloy. Tembaga yang digunakan di pabrik biasanya berbentuk organik dan anorganik. Logam tersebut digunakan di pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas, dan zat warna yang biasanya bercampur dengan logam lain seperti alloy dengan Ag, Cd, Sn, dan Zn.

Tembaga masuk keperairan merupakan faktor alamiah seperti terjadinya pengikisan dari batuan mineral sehingga terdapat debu, partikel-partikel tembaga yang terdapat dalam lapisan udara akan terbawa oleh hujan. Pada konsentrasi 2,3 – 2,5 mg/l dapat mematikan ikan dan akan menimbulkan efek keracunan, yaitu kerusakan pada selaput lendir (Saeni, 1997). Selain itu, kelebihan tembaga secara kronis menyebabkan penumpukan tembaga di dalam hati yang dapat menyebabkan nekrosis hati. Konsumsi sebanyak 10-15mg tembaga dapat menyebabkan muntah-muntah, diare. Berbagai tahap pendarahan intravaskuler dapat terjadi, begitu pula nekrosis sel-sel hati dan gagal ginjal (Almatsier,2006). Berdasarkan PP no 20 tahun 1990 tentang pengendalian pencemaran air, kadar tembaga yang diperbolehkan terdapat dalam air minum adalah 0,5mg/L.

Tembaga juga berasal dari buangan bahan yang mengandung tembaga seperti dari industri galangan kapal, industri pengolahan kayu, dan limbah domestik. Garam Cu banyak digunakan dalam bidang pertanian, misalnya sebagai larutan “Bordeaux” yang mengandung 1-3%  $\text{CuSO}_4$  untuk membasmi jamur pada sayur dan tumbuhan buah. Senyawa  $\text{CuSO}_4$  juga sering digunakan untuk membasmi siput sebagai inang dari parasit, cacing, dan juga mengobati penyakit kuku pada domba (Darmono, 1995).

## 2.6 Adsorpsi

Berbagai kajian mengenai fenomena adsorpsi telah memunculkan beberapa pengertian tentang adsorpsi. Menurut Oscik adsorpsi pada gas atau larutan dapat didefinisikan sebagai peristiwa akumulasi substansi adsorbat pada permukaan adsorben, sedangkan menurut Lyman adsorpsi merupakan proses yang melibatkan pemusatan substansi adsorbat pada permukaan adsorben yang dapat terjadi pada antarmuka antara dua fasa, misalnya fasa cair dengan fasa cair, fasa gas dengan fasa cair, fasa gas dengan fasa padat, dan fasa cair dengan fasa padat (Khoerunnisa, 2005).

Menurut Benefield (1982), faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, antara lain:

### a. Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi sebab semakin banyak pula situs-situs aktif yang tersedia pada adsorben untuk kontak dengan adsorbat. Luas permukaan sebanding dengan jumlah situs aktif adsorben.

b. Karakteristik adsorbat

Senyawa yang mudah larut memiliki afinitas yang tinggi dengan pelarutnya sehingga lebih sulit untuk teradsorpsi daripada senyawa yang sukar larut.

c. Ukuran molekul adsorbat

Molekul yang besar akan lebih mudah teradsorpsi daripada molekul yang kecil. Tetapi, pada difusi pori molekul-molekul yang besar akan mengalami kesulitan untuk teradsorpsi akibat konfigurasi molekul yang tidak mendukung. Sehingga adanya batas ukuran molekul adsorpsi tertentu pada setiap adsorpsi.

d. Konsentrasi adsorbat

Konsentrasi adsorbat yang tinggi akan menghasilkan daya dorong (*driving force*) yang tinggi bagi molekul adsorbat untuk masuk ke dalam situs aktif adsorben.

e. Suhu

Adsorpsi merupakan proses kinetika maka pengaturan suhu akan mempengaruhi kecepatan proses adsorpsi.

f. pH

pH mempengaruhi terjadinya ionisasi ion hidrogen dan ion ini sangat kuat teradsorpsi. Asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah sedangkan basa organik terjadi pada pH tinggi.

g. Waktu pengadukan

Waktu pengadukan yang relatif lama akan memberikan waktu kontak yang lebih lama terhadap adsorben untuk berinteraksi dengan adsorbat.

Berdasarkan besarnya interaksi antara adsorbat dengan adsorben, adsorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia

(*chemisorption*). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia.

Pada adsorpsi fisika dihasilkan ikatan yang lemah pada permukaan adsorben yang bersifat reversibel, di mana molekul-molekul yang telah teradsorpsi dapat dilepaskan kembali dengan cara menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Menurut Adamson (1990) besarnya energi adsorpsi yang menyertai adsorpsi fisika sekitar 10 kJ/mol dan lebih rendah dari energi adsorpsi kimia.

Menurut Oscik adsorpsi kimia melibatkan ikatan koordinasi sebagai hasil pemakaian bersama elektron oleh adsorben dan adsorbat. Pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan dan pemutusan ikatan, sehingga energi adsorpsinya berada pada kisaran yang sama dengan reaksi kimia. Selain itu ikatan antara adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga tidak terjadi spesiasi, karena zat yang teradsorpsi menyatu dengan adsorben membentuk satu lapisan tunggal dan relatif bersifat irreversibel. Menurut Adamson, batas minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol (Khoerunnisa, 2005).

Adsorpsi pertukaran terjadi jika proses adsorpsi melibatkan adanya gaya tarik elektrik antara adsorbat dan adsorben (Sawyer et al., 1994). Ion-ion terserap pada permukaan adsorben sebagai hasil dari gaya tarik elektrostatis dengan situs permukaan yang memiliki muatan berlawanan. Biasanya, semakin besar muatan ion maka semakin kuat gaya tarik yang terjadi antara ion tersebut dengan situs

permukaan yang memiliki ion berlawanan. Misalnya ion trivalen akan memiliki gaya tarik lebih besar dibandingkan ion monovalen. Ukuran ion pun mempengaruhi besarnya gaya tarik, ion yang lebih kecil akan lebih mudah tertarik pada situs yang memiliki muatan berlawanan.

