

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

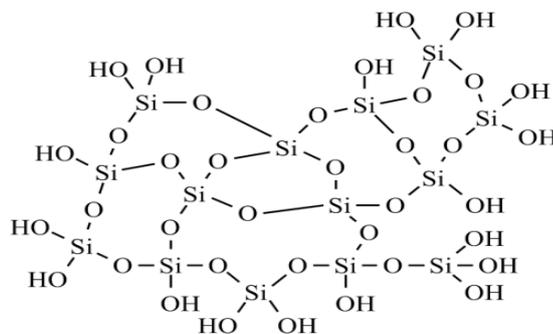
### 2.1 Silika Gel

Silika gel terdiri atas silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dengan rumus  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Silika gel merupakan bentuk silika yang berbentuk koloid dan mempunyai banyak pori halus yang menyebabkan permukaannya luas. Silika gel adalah salah satu padatan anorganik yang dapat digunakan untuk keperluan adsorpsi. Selain untuk keperluan adsorpsi, silika gel juga dapat digunakan sebagai adsorben pada senyawa polar, desikan, bahan katalisator, bahan tambahan untuk pembuatan keramik, pengisi kolom pada alat kromatografi, dan isolator.

Silika gel yang digunakan sebagai penyerap uap air (*desiccant*) biasanya dijual dalam kemasan kecil (*sachet*) yang dimasukkan ke dalam kemasan alat-alat elektronik, bahan makanan, obat-obatan atau barang-barang lain, yang bertujuan untuk mencegah barang-barang tersebut berkarat atau rusak karena udara lembab.

Matriks dan partikel silika gel primer adalah inti yang terdiri dari atom silikon yang terikat bersama silikon lain oleh adanya atom oksigen dengan ikatan siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) sehingga pada permukaan tiap partikel primer terdapat gugus  $-\text{OH}$  yang tidak terkondensasi yang berasal dari monomer asam silikat. Gugus  $-\text{OH}$  yang kemudian dikenal dengan gugus silanol inilah yang memberikan sifat polar pada silika gel dan merupakan sisi aktif silika gel. Silika gel mempunyai keaktifan adsorpsi pada permukaannya. Struktur silika gel dapat dilihat pada

#### Gambar 21



**Gambar 2.1** Struktur silika gel

Sumber: (Weddel et al., 1997)

Sifat silika gel ditentukan oleh orientasi dari ujung tempat gugus hidroksil berkombinasi. Kemampuan adsorpsi silika gel ternyata tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan siloksan yang ada pada permukaan silika gel, namun tergantung pada distribusi gugus  $-OH$  per satuan luas adsorben. Silika gel dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

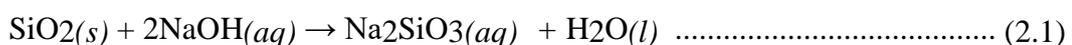
1. Akuagel, merupakan silika gel yang pori-porinya terisi oleh air
2. Xerogel atau silika kering, merupakan silika gel kering yang dihasilkan dengan mengeringkan fase cair dalam pori-pori melalui proses evaporasi.
3. Aerogel, merupakan silika gel yang dihasilkan dengan mengeringkan fase cair dalam pori-pori melalui proses ekstraksi superkritikal.

Silika gel pertama kali dikenal dalam bentuk hidrogel. Silika gel dapat diperoleh melalui dialisis sol silika yang dihasilkan melalui pencampuran larutan natrium silikat dan larutan asam. Silika amorf yang bereaksi dengan basa dalam jumlah berlebih akan membentuk suatu cairan, dan penambahan asam secara kuantitatif akan mengendapkan silika dari larutan tersebut.

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $Na_2SiO_3$ ). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis. Pembuatan silika gel dapat dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Pembentukan natrium silikat ( $Na_2SiO_3$ ) dari reaksi  $SiO_2$  dengan  $NaOH$ .
2. Reaksi pembentukan silika hidrosol dari reaksi antara  $Na_2SiO_3$  dengan asam.
3. Reaksi pembentukan silika hidrosol, yaitu polimerisasi asam silikat.
4. Pemanasan silika hidrogel menjadi silika gel.

Dari reaksi silika dengan natrium hidroksida akan dihasilkan natrium silikat yang larut dalam air, oleh karena itu dikenal dengan nama dagang *water glass*, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Pengasaman terhadap larutan natrium silikat akan membentuk silika hidrosol yang apabila didiamkan akan membentuk hidrogel. Pemanasan pada suhu 100°C mengakibatkan dehidrasi pada hidrogel dan terbentuklah silika gel ( $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) dengan kandungan air yang bervariasi.

Silika gel memiliki standar teknis untuk lembaga inspeksi nasional seperti JISS-0701. Berikut ini adalah tabel spesifikasi gel desiccant sesuai standar.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Silika Gel Standar JISS-0701

ITEM TEST	Standar JISS-0701
Butir Diameter ( mm )	2,0-5,0 ( sesuai kebutuhan )
Kerugian Pengeringan pada 180 °C ( % )	5.0 max.
pH	4.0 – 8.0
Kadar Air (%)	2,5 max.
Jelas Density ( g / ml )	0.73
Luas Permukaan ( m <sup>2</sup> / g )	650
Pori Volume ( ml / g )	0.36
Av . Pori Diameter ( mm )	22
Bahan Jenis ( kcal / Kg . C )	0.22
Konduktivitas Termal ( kcal / m . Hr . C )	0.15
Specific Resistance ( Ω/cm )	3000 min.
Kelembaban :	
RH = 20%	8.0% min.
RH = 40%	20.0% min.
Penyerapan Kadar Air	41 %

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2015)

### 2.1.1 Manfaat Silika Gel

Silika gel dipatenkan oleh profesor kimia dari John Hopkins University Baltimore Maryland yakni Walter A. Patrick. Pada tahun 1919. Sebelum dipatenkan pada perang dunia I silika gel digunakan sebagai material pengisi di kantung gas *mask* untuk menyerap uap air dari udara. Kemudian pada perang dunia II silika gel digunakan di medan perang untuk menjaga *penicilin* agar tetap kering serta melindungi peralatan militer dari kerusakan yang disebabkan oleh embun selain itu silika gel digunakan sebagai katalis dalam pembuatan butadiena dari ethanol, *cracking* katalis dalam produksi bensin berkadar oktan tinggi, dan dalam industri karet digunakan sebagai umpan untuk proses sintetiknya. Silika gel akan berubah dari tidak jenuh menjadi jenuh akan ditandai dengan perubahan warna dari silika gel tersebut, indikator petunjuk kandungan air dalam silika gel menggunakan indikator warna, terdapat 2 jenis silika gel yang dibedakan dengan warna.

Kedua jenis silika gel tersebut yaitu:

1. Silika gel biru

Silika akan berwarna biru apabila silika gel dapat menyerap uap air yang ada dan akan memberikan perubahan warna apabila silika gel telah menyerap uap air (sudah jenuh). Silika gel akan berubah warna dari warna biru ke merah muda.

2. Silika gel putih

Silika jenis ini pada saat belum menyerap air akan tetap berwarna putih dan pada saat telah menyerap uap air (sudah jenuh) silika gel akan berubah warna menjadi merah muda.



**Gambar 2.2.** Contoh-contoh gambar *desiccant*  
 Sumber: (Weddel et al., 1997)

## 2.2 Silika Gel Sebagai Adsorben

Padatan yang berfungsi untuk mengadsorpsi dikenal sebagai adsorben. Adsorben tersebut dapat berbentuk serbuk (*powder*) atau butiran (*granular*) dan penggunaannya tergantung operasi yang akan dilakukan. Pada umumnya, partikel adsorben tersebut berdiameter antara 0,005 cm hingga 1,27 cm. Pemakaiannya antara lain adalah untuk mengadsorpsi berbagai zat pengotor yang umumnya meliputi zat-zat organik, bau dan warna, koloid dan senyawa nitrit yang berada di dalam fluida cair. Selain itu, juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi suatu gas yang tidak dikehendaki yang berada di dalam campuran gas. Salah satu faktor yang penting dalam proses adsorpsi adalah luas permukaan adsorben per satuan berat adsorben. Bila dibandingkan terhadap ukuran partikel, luas permukaan internal pada pori-pori partikel lebih berpengaruh pada proses adsorpsi. Biasanya, pori-pori berukuran sangat kecil yaitu berdiameter hanya beberapa molekul saja,

tetapi menyediakan sejumlah besar luas permukaan adsorpsi. Sebagai contoh, *charcoal* (arang) yang dapat mengadsorpsi gas, mempunyai luas permukaan sekitar 100000 m<sup>2</sup>/kg adsorben. Adsorben padat yang baik adalah yang porositasnya tinggi seperti Pt halus, arang dan silika gel. Permukaan zat ini sangat halus sehingga adsorpsi dapat terjadi pada banyak tempat. Namun demikian, adsorpsi dapat terjadi pada permukaan yang halus seperti gelas atau platina. Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh peristiwa sebagai berikut :

1. Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap banyak sekali suatu gas tetapi tidak menyerap gas-gas tertentu.
2. Adsorpsi terjadi sangat cepat, hanya kecepatan adsorpsi makin berkurang dengan makin banyaknya gas yang diserap
3. Jumlah gas diserap tergantung temperatur kritis, makin jauh jarak antara temperatur penyerapan dari temperatur kritis, makin sedikit jumlah gas yang diserap.
4. Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorbens, makin porous adsorben makin besar daya adsorpsinya
5. Adsorpsi tergantung jenis adsorben dan pembuatan adsorbens. Silika gel yang dibuat dengan berbagai cara, mempunyai daya serap yang berbeda pula.
6. Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat adsorbens tergantung tekanan parsial gas, makin besar tekanan makin banyak pula gas yang terserap. Namun demikian, bila penyerapan telah jenuh, tekanan tidak berpengaruh
7. Adsorpsi merupakan proses reversibel. Bila tidak terjadi rekasi kimia, penambahan tekanan menyebabkan penambahan adsorpsi dan pengurangan tekanan menyebabkan pelepasan daya yang diserap.

Beberapa partikel padatan adsorben yang penting dan secara komersial telah banyak digunakan dalam berbagai industry meliputi antara lain seperti berikut ini.

a. *Fuller earth*

*Fuller earth* yaitu sejenis tanah liat alam yang merupakan mineral alam dan mengandung aluminium silikat, magnesium silikat. Biasanya, digunakan untuk menghilangkan warna, netralisasi pada industri minyak nabati dan hewani

dan pengeringan pada industry petroleum (*lubricating*), minyak kerosin, diesel dan gasoline). Untuk regenerasi adsorben dapat dilakukan dengan cara pencucian dan pemanasan untuk menghilangkan berbagai senyawa organik yang terakumulasi di permukaan adsorben.

b. *Activated clay*

*Activated clay* yaitu sejenis bentonit atau tanah liat, akan aktif bila sebelum digunakan dengan menggunakan asam sulfat atau asam klorida. Umumnya digunakan untuk menghilangkan warna pada industri petroleum. pemanasan pada temperature antara 450-1500 °F.

c. Bouksit

Bouksit yang membentuk senyawa alumina hidrat, yang diaktifkan dengan Biasanya digunakan untuk penghilangan warna dan pengeringan produk petroleum.

d. Alumina

Alumina yang membentuk senyawa alumina oksida hidrat, dan dapat diaktifkan dengan cara pemanasan dan umumnya digunakan untuk pengeringan gas atau cairan.

e. *Bone-char*

*Bone-char* berbentuk arang yang telah dikeringkan pada suhu 1100 - 16000F dan digunakan untuk pemurnian gula.

f. *Decolorizing carbon*

*Decolorizing carbon* campuran antara bahan-bahan alam dengan campuran senyawa organik dan anorganik seperti  $\text{CaCl}_2$ . Seringkali zat ini digunakan untuk menghilangkan zat warna yang berada didalam larutan gula dan industri kimia lainnya.

g. *Silica gel*

*Silica gel* digunakan untuk pengeringan dan pemurnian gas dan pemurnian petroleum distilat. Silika gel merupakan adsorben yang paling banyak dipakai untuk menyerap zat-zat dalam larutan. Zat ini banyak dipakai di pabrik untuk menghilangkan kadar air dalam udara. Penyerapan dari larutan, mirip dengan penyerapan gas oleh zat padat. Penyerapan bersifat selektif, yang diserap hanya

zat terlarut dan pelarut. Bila dalam larutan ada dua zat atau lebih, zat yang satu akan terserap lebih kuat dari yang lain.

h. *Molecular sieve*

*Molecular sieve* yaitu sejenis zeolit sintetis atau logam alumino silikat yang umumnya digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar air (dehidrasi) yang terdapat di berbagai gas atau cairan. Proses adsorpsi juga dapat digunakan untuk memisahkan campuran yang relative sulit dipisahkan dengan cara distilasi, ekstraksi dan kristalisasi.

Pada dasarnya, proses adsorpsi akan melibatkan berbagai tahap sebagai berikut:

- a. Kontak antara fluida dengan padatan adsorben. Pada tahap ini terjadi adsorpsi fluida ke permukaan padatan adsorben, dan fluida yang diadsorpsi disebut sebagai adsorbat.
- b. Pemisahan fluida yang tidak mengalami adsorpsi.
- c. Regenerasi adsorben. Selain itu, juga diperlukan persyaratan lain, yaitu zat yang mengadsorpsi (adsorben) umumnya berada pada keadaan stationer, sehingga terjadi kontak antara adsorbat dan adsorben.

Bila dilihat dari mekanisme peristiwa adsorpsi diatas, proses yang terjadi hamper mendekati proses ekstraksi. Pada ekstraksi, perpindahan massa berlangsung dari fasa padat atau fasa cair ke fasa cair, sedangkan pada adsorpsi, perpindahan massa berlangsung sebaliknya, yaitu dari fasa cair ke permukaan fasa padat. Gas dan uap juga dapat mengalami kebalikan dari proses adsorpsi, yaitu proses desorpsi bila operasi berlangsung dengan mengurangi tekanan dan menaikkan temperature antara adsorben dan adsorbat [28].

### 2.3 Adsorpsi

Adsorpsi didifenisikan sebagai proses terserapnya molekul adsorbat pada permukaan padat atau zat cair. Istilah adsorpsi pertama kali diperkenalkan oleh Keyser pada tahun 1881. Dalam adsorpsi, molekul-molekul yang teradsorpsi tersebut akan menahan molekul-molekul lain sehingga akhirnya akan menumpuk membentuk suatu lapisan multimolekul. Gaya yang berperan dalam peristiwa adsorpsi tersebut tergantung pada sifat dasar kimia permukaan dan struktur spesies teradsorpsi. Adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu

adsorpsi secara kimia (*chemisorptions*) dan fisik (*physisorption*). Gaya yang terjadi pada adsorpsi fisik relative lemah dan dikenal sebagai gaya van der Waals. Pada adsorpsi kimia molekul-molekul yang teradsorpsi diikat dengan gaya kovalen seperti yang terjadi pada atom-atom dalam molekul. Konsep adsorpsi secara kimia menerangkan bahwa setelah tertutup dengan lapisan tunggal maka permukaan menjadi jenuh, adsorpsi selanjutnya hanya terjadi di atas lapisan yang ada dan biasanya berupa adsorpsi sisik.

Proses adsorpsi merupakan salah satu perpindahan massa yang melibatkan kontak antara fluida (cair atau gas) dengan fasa padat dengan arah perpindahan massa dari fluida ke permukaan padatan. Proses pengeringan dan leaching merupakan kebalikan proses adsorpsi, yaitu dengan arah perpindahan massa masing-masing dari fasa padat ke fasa gas dan fasa cair. Pada dasarnya, peralatan yang digunakan untuk proses adsorpsi antara fasa gas atau cair dengan fasa padat juga dapat digunakan untuk proses pengeringan dan *leaching*. Sebagai contoh, telah dikembangkan peralatan adsorpsi antara fasa gas atau cair pada permukaan fasa padat yang berlangsung secara kontinu, tetapi masih relative sedikit penggunaannya dalam proses pengeringan. Begitu juga, peralatan *leaching* yang beroperasi secara kontinu antara fasa cair dan fasa padat, jarang digunakan untuk proses adsorpsi cairan. Mekanisme proses adsorpsi pada dasarnya adalah cukup kompleks. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan berbagai tipe adsorpsi. Berbagai jenis adsorpsi melibatkan peristiwa fisika maupun kimia. Adsorpsi terhadap zat pengotor atau zat organik ke permukaan karbon aktif dapat digolongkan sebagai adsorpsi fisik. Proses adsorpsi kimia, umumnya terbatas pada berbagai ikatan kimia antara atom-atom atau molekul pada permukaan zat padat. Peristiwa tersebut disertai dengan perpindahan ion yang dikenal dengan proses pertukaran ion [29].

Adsorpsi ada dua jenis, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisika, adsorpsi disebabkan gaya van der Waals yang ada pada permukaan adsorbens. Panas adsorpsi fisika biasanya rendah dan lapisan yang terjadi pada adsorpsi fisika biasanya rendah dan lapisan yang terjadi pada permukaan adsorbens biasanya lebih dari satu molekul. Pada Adsorpsi kimia, terjadi reaksi antara zat yang diserap dan adsorben. Lapisan molekul pada permukaan adsorben

hanya satu lapis panas adsorpsinya tinggi. Dalam hal-hal tertentu, gas diserap dalam keadaan utuh pada permukaan adsorben. Dalam keadaan lain, seperti hidrogen pada permukaan hitam, molekulnya terpecah menjadi atom-atom. Akibat dari hal ini ialah hidrogen menjadi aktif sekali, karena itu selalu dipakai sebagai katalisator untuk reaksi-reaksi dengan hydrogen.

### 1. Adsorpsi Fisika

Berbagai ciri adsorpsi fisika antara lain meliputi hal berikut ini.

- a. Gas terkondensasi pada permukaan padatan pada tekanan relative rendah dan pada temperatur yang bersangkutan.
- b. Panas kondensasi harganya lebih besar bila dibandingkan terhadap panas penguapan (*latent*).
- c. Proses dapat berlangsung secara *reversible* (dapat balik).

### 2. Adsorpsi Kimia

Berbagai ciri adsorpsi kimia antara lain meliputi hal berikut ini.

- a. Gaya adsorpsi dikenal sebagai *activated adsorption*.
- b. Panas reaksi yang dibebaskan, umumnya relative lebih besar bila dibandingkan terhadap panas adsorpsi fisika.
- c. Proses yang berlangsung tidak *reversible* dan berlaku untuk semua gas.
- d. Gaya adhesif harganya jauh lebih besar bila dibandingkan terhadap adsorpsi fisik.
- e. Laju adsorpsi relative cepat dan digunakan untuk berbagai reaksi kimia yang melibatkankatalis.

#### 2.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Menurut Orthman (2000), secara umum adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Adsorben Tiap jenis adsorben mempunyai karakteristik tersendiri. Adsorben yang baik untuk mengadsorpsi zat yang satu belum tentu baik untuk mengadsorpsi zat yang lain.
2. Adsorbat Adsorbat berupa zat elektrolit maupun non elektrolit. Untuk zat elektrolit adsorpsinya besar, karena mudah mengion sehingga antara molekul-molekul saling tarik-menarik, untuk zat non elektrolit adsorpsinya kecil karena tidak mengalami ionisasi.

3. Luas Permukaan Adsorben Proses adsorpsi tergantung pada banyaknya tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel adsorbat dan adsorben. Tumbukan efektif antara partikel itu akan meningkat dengan meningkatkannya luas permukaan. Jadi, semakin luas permukaan adsorben maka adsorpsi akan semakin besar sebab kemungkinan adsorbat untuk diadsorpsi juga semakin besar. Jadi semakin halus suatu adsorben maka adsorpsinya akan semakin besar [30].

### 2.3.2 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fase cair dan konsentrasi pada partikel adsorben pada suhu tertentu. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi yang tinggi, kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \left( \frac{C_1 - C_2}{m} \right) \times V \quad (\text{kapasitas adsorpsi})$$

$$\% E = \left( \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \right) \times 100\% \quad (\text{efisiensi adsorpsi})$$

Dimana :  $Q$  = kapasitas adsorpsi per bobot molekul (mg/g)

$C_1$  = konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_2$  = konsentrasi akhir larutan (mg/L)

$V$  = volume larutan (L)

$m$  = massa adsorben yang digunakan (g)

$\%E$  = Efisiensi adsorpsi

Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi fase cair-padat pada umumnya menganut tipe Isotherm Freundlich dan Langmuir [31]. Model Isotherm Langmuir dan Freundlich umum digunakan pada adsorpsi cairan dengan konsentrasi rendah.

#### a) Model Isoterm Langmuir

Teori Langmuir menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi [32]. Model Isoterm Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$q_c = \frac{Q_b C_e}{1 + b C_e} \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan bentuk liniernya dapat terlihat dalam persamaan :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{Qb} \cdot \frac{1}{C_e} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai  $q_e$  adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi per berat adsorben (mg/g).  $C_e$  adalah konsentrasi kesetimbangan dari adsorbat (mg/L). Konstanta  $Q$  adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi, dan  $b$  adalah kapasitas adsorpsi, Nilai dari  $Q$  dan  $b$  dapat dihitung dari intersep dan slop dari plot  $1/q_e$  dan  $1/C_e$ .

b) Model Isoterm Freundlich

Model Isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi.

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$q_c = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (3)$$

Sedangkan bentuk liniernya dapat terlihat dalam persamaan :

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots (4)$$

Nilai  $K_f$  dan  $n$  adalah konstanta Freudlich yang nilainya signifikan terhadap kapasitas adsorpsi dan intensitas dari adsorpsi. Nilai  $K_f$  dan  $n$  dapat diketahui dari nilai intersep dan slope dari plot  $\log q_e$  dan  $\log C_e$  yang dapat dilihat pada grafik yang dibuat.