

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu sekam Padi

Sekam padi adalah kulit yang membungkus butiran beras, dimana kulit padi akan terpisah dan menjadi limbah atau buangan. Jika sekam padi dibakar akan menghasilkan abu sekam padi. Secara tradisional, abu sekam padi digunakan sebagai bahan pencuci alat-alat dapur dan bahan bakar dalam pembuatan batu bata. Penggilingan padi selalu menghasilkan kulit gabah / sekam padi yang cukup banyak yang akan menjadi material sisa. Ketika bulir padi digiling, 78% dari beratnya akan menjadi beras dan akan menghasilkan 22% berat kulit sekam. Kulit sekam ini dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi. Kulit sekam terdiri 75% bahan mudah terbakar dan 25% berat akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal sebagai *Rice Husk Ash (RHA)* yang memiliki kandungan silika reaktif sekitar 85%- 90%. Dalam setiap 1000 kg padi yang digiling akan dihasilkan 220 kg (22%) kulit sekam.

Jika kulit sekam itu dibakar pada tungku pembakar, akan dihasilkan sekitar 55 kg (25%) *RHA*. Sekitar 20% dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi dari 13 sampai 29% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar. Nilai paling umum kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi adalah 94 – 96% dan apabila nilainya mendekati atau dibawah 90 % kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah. Abu sekam padi apabila dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi sekitar (500°C – 600°C) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia.

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silica. Pembakaran sekam padi dengan menggunakan metode konvensional seperti *fluidised bed combustors* menghasilkan emisi CO antara 200 –2000 mg/Nm³ dan emisi NO_x antara 200-300mg/Nm³.

Metode pembakaran sekam padi yang dikembangkan oleh COGEN-AIT mampu mengurangi potensi emisi CO₂ sebesar 14.762 ton, CH₄ sebesar 74 ton, dan NO₂ sebesar 0,16 ton pertahun dari pembakaran sekam padi sebesar 34.919 ton pertahun. Proses pembakaran akibat panas yang terjadi akan menghasilkan perubahan struktur silika yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas *pozolan* dan kehalusan butiran abu. Pada tahap awal pembakaran, abu sekam padi menjadi kehilangan berat pada suhu 100°C, pada saat itulah hilangnya sejumlah zat dari sekam padi tersebut. Pada suhu 300°C, zat-zat yang mudah menguap mulai terbakar dan memperbesar kehilangan berat. Kehilangan berat terbesar terjadi pada suhu antara 400°C-500°C, pada tahap ini pula terbentuk oksida karbon. Di atas suhu 600°C ditemukan beberapa formasi kristal *quartz*. Jika temperatur ditambah, maka sekam berubah menjadi kristal silika.



(Sumber : Wibowo, dkk, 2018)

Gambar 1. Abu sekam padi.

Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai *RHA* (*rice husk ash*). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400°C-500°C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1000°C akan menjadi silika kristalin. Silika amorphous yang dihasilkan dari abu sekam padi diduga sebagai sumber penting untuk menghasilkan silikon murni, karbid silikon, dan tepung nitrid silicon.

2.2. Silika (SiO₂)

2.2.1 Definisi Silika

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat yang tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral dengan formula umum SiO₂. Silika merupakan komposisi paling besar dari sekam padi yaitu sekitar 90% dari total komposisi penyusun sekam padi lainnya (Isma Masrofah, 2017).

Silika yang dihasilkan dari abu sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika, yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya (Agung dkk, 2013).

2.2.2 Sifat Fisik dan Kimia Silika

1. Sifat Fisika Silika

Silika dalam bentuk amorf memiliki densitas sebesar 2,21 gr/cm³ dengan modulus elastisitas sebesar 10x10⁶ psi. Kandungan unsur silikon (Si) dan oksigen (O) pada silika jenis ini adalah 46,7% dan 53,3%. Silika dari sekam padi memiliki luas permukaan yang sangat kecil, yaitu mencapai 66 m²/g apabila tanpa melakukan perlakuan khusus terhadap silika yang diperoleh. Hal ini disebabkan jumlah pori-pori dari sekam padi sedikit sehingga permukaan silika menyempit. Selain itu hal ini disebabkan ukuran diameter silika yang sangat kecil bahkan tidak dapat ditentukan. Silika tidak larut dalam air dingin, air panas maupun alkohol tetapi dapat larut dalam HF (Susanti, 2015).

Secara umum sifat fisika silika adalah sebagai berikut:

Nama IUPAC	: Silikon dioksida
Nama lain	: Kuarsa, Silika, Silikat oksida, Silikon (IV) oksida
Rumus molekul	: SiO ₂
Massa molar	: 60,08 g/mol
Penampilan	: Kristal Transparan

Kepadatan : 2,648 g/cm³
 Titik lebur : 1600-1725°C
 Titik didih : 2230°C

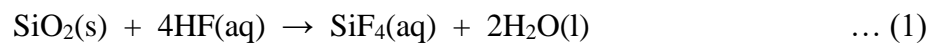
(Retnosari, Agustin. 2015)

2. Sifat Kimia Silika

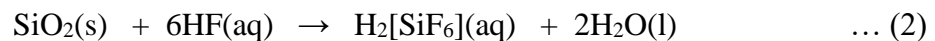
Senyawa silika mempunyai berbagai sifat kimia antara lain sebagai berikut:

a. Reaksi dengan Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali asam hidrofluorida seperti reaksi berikut:



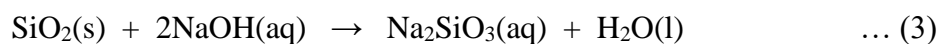
Dalam asam hidrofluorida berlebih reaksinya menjadi:



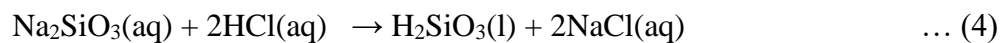
(Retnosari, Agustin. 2015)

b. Reaksi dengan Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksida alkali.



Secara komersial, silika dibuat dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral. Reaksi ini menghasilkan suatu dispersi peka yang akhirnya memisahkan partikel dari silika terhidrat, yang dikenal dengan silika hidrosol atau asam silikat yang kemudian dikeringkan pada suhu 110°C agar terbentuk silika gel. Reaksi yang terjadi:



(Retnosari, Agustin. 2015)

Tabel 1. Karakteristik fisika, mekanika, termal, dan sifat elektrik silika amorf dan silika kristal

No.	Parameter	Satuan	Silika Amorf	Silika Kristal
1.	Densitas	g/cm ³	2,65	2,2
2.	Konduktivitas Termal	W/mK	1,3	1,4
3.	Koefisien ekspansi termal	K ⁻¹	12,3.10 ⁻⁶	0,4.10 ⁻⁶
4.	Kekuatan tarik	Mpa	55	110
5.	Kekuatan desak	Mpa	2070	690-1380
6.	Rasio poisson's		0,17	0,165
7.	Kekuatan retak	Mpa	-	0,79
8.	Modulus elastisitas	Mpa	70	73
9.	Daya tahan kejut termal		Baik sekali	Baik sekali
10.	Permittivitas (ϵ)		3,8-5,4	3,8
11.	Faktor kehilangan		0,0015	-
12.	Kekuatan bidang dielektrik	kV/mm	15,0-25,0	15,0-40,0
13.	Resistivitas	Ω m	10 ¹² -10 ¹⁶	>10 ¹⁸

Sumber: *Sigit dan Jetty, 2001*

2.3 Nanosilika

Nanoteknologi merupakan teknologi yang mempelajari fenomena atau sifat-sifat suatu bahan dalam skala nanometer (1-100 nm). Secara garis besar nanoteknologi meliputi tujuh kelompok nanomaterial yakni, nanomaterial berbasis karbon, nanokomposit, nanologam, nanomaterial biologi, nanopolimer, nanoglas, dan nanokeramik (Violina Sitorus, 2013). Bahan berukuran nano memiliki sifat kimia dan fisika yang lebih baik dibandingkan dengan material sejenis yang memiliki ukuran yang lebih besar. Sifat ini dapat diubah-ubah melalui beberapa perlakuan seperti: pengontrolan ukuran material dan pengaturan komposisi kimiawi.

Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO₂) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO₂) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, dan K₂O, berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya.

Silika biasa diperoleh melalui proses penambangan yang dimulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Pasir kuarsa tersebut kemudian dilakukan proses pencucian untuk membuang pengotor yang kemudian dipisahkan dan dikeringkan kembali sehingga diperoleh pasir dengan kadar silika yang lebih besar bergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat penambangan. Pasir inilah yang kemudian dikenal dengan pasir silika atau silika dengan kadar tertentu. Silika biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dengan berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain.

Untuk proses penghalusan atau memperkecil ukuran dari pasir silika umumnya digunakan metode *milling* dengan *ball mill* untuk menghancurkan ukuran pasir silika yang besar-besar menjadi ukuran yang lebih kecil dan halus, silika dengan ukuran yang halus inilah yang biasanya banyak digunakan dalam industri. Saat ini dengan perkembangan teknologi mulai banyak aplikasi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Sebagai salah satu contoh silika dengan ukuran mikron banyak diaplikasikan dalam material *building*, yaitu sebagai bahan campuran pada beton.

Ukuran lainnya yang lebih kecil adalah nanosilika banyak digunakan pada aplikasi di industri ban, karet, cat, kosmetik, elektronik, dan keramik. Sebagai salah satu contoh adalah pada produk ban dan karet secara umum. Manfaat dari penambahan nanosilika pada ban akan membuat ban memiliki daya lekat yang lebih baik terlebih pada jalan salju, mereduksi kebisingan yang ditimbulkan dan usia ban lebih panjang daripada produk ban tanpa penambahan nanosilika. Untuk memperoleh ukuran silika sampai pada ukuran nano/mikrosilika perlu perlakuan khusus pada prosesnya.

Nanosilika merupakan salah satu nanoteknologi yang memanfaatkan silika dalam ukuran nano. Ukuran nanopartikel silika yang sudah pernah diteliti menghasilkan ukuran 25-60 nm dengan metode kopresipitasi dalam penelitian

(Hayati dan Astuti, 2015), 13,36-50 nm dengan metode sol-gel dalam penelitian (Ardiansyah, 2015). Tanaman seperti padi, tebu dan gandum memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Abu dari hasil pembakaran sekam padi memiliki kandungan silika yang dapat mencapai 91% (Agung, dkk., 2013). Ukuran nanopartikel silika dari abu sekam padi yang sudah pernah diteliti adalah 45,3869 nm dengan metode sol-gel dalam penelitian (Wibowo, dkk., 2018), dan 50 nm dengan metode kopresipitasi.

Proses sintesis nanopartikel terdiri dari beberapa metode antara lain metode sol-gel adalah metode sintesis senyawa anorganik dimana dalam proses terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu(gel), sedangkan metode kopresipitasi yaitu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya. Untuk mengetahui ukuran nano yang diperoleh dapat menggunakan analisis SEM yang berfungsi untuk mengetahui ukuran partikel dan struktur morfologinya.



(Sumber: Sagar, 2019)

Gambar 2. Nanosilika

Nanosilika sudah banyak dimanfaatkan dalam bidang sains maupun industri antara lain dapat dijadikan sebagai bahan pengisi polimer, perekat, tinta, cat, pelapis, kosmetik dan makanan aditif. Penelitian terdahulu yang sudah melakukan penelitian tentang sintesis nanopartikel silika dari abu sekam padi antara lain, (Ardiansyah, 2015) ukuran partikel yang diperoleh 13,36-50 nm menggunakan metode sol-gel, ukuran partikel yang diperoleh 40-200 nm, ukuran partikel yang diperoleh di kisaran 50-70 nm dengan metode kopresipitasi. Dari

data di atas dapat dilihat bahwa ukuran nanopartikel yang lebih baik adalah pada metode sol-gel.

Nanosilika memiliki beberapa sifat diantaranya: luas permukaan besar, ketahanan panas yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi dan inert sehingga digunakan sebagai prekursor katalis, adsorben dan filter komposit, juga memiliki kestabilan yang bagus, bersifat biokompatibel yang mampu bekerja selaras dengan sistem kerja tubuh dan membentuk sperik tunggal. Nanopartikel SiO₂ amorf biasa digunakan dalam proses pembuatan substrat elektronik, substrat lapisan tipis, insulator listrik dan insulator termal. Selain itu juga diungkapkan bahwa nanopartikel SiO₂ dapat digunakan sebagai suatu material pendukung yang ideal untuk nanopartikel magnetik, karena sangat mudah untuk mencegah tarikan magnetic dipolar anisotropik ketika diberikan medan magnet luar dan meningkatkan daya tahan terhadap korosi dari nanopartikel magnetik. Partikel silika memiliki peran yang berbeda-beda untuk masing-masing produk yang dihasilkan, dimana kualitas produk ditentukan dari ukuran dan distribusi ukuran partikel silika itu sendiri di dalam sistemnya. Selain itu juga dapat diaplikasikan sebagai bahan filler untuk pembuatan keramik, dimana filler berguna untuk memperkuat keramik karena filler tersebut dapat mengisi kekosongan pada matriks (Astuti dan Hayati, 2015).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan atau pengayaan (enrichment) bahan dari suatu komponen campuran gas/cair di daerah antar fasa dimana bahan yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan zat padat. Bahan penyerap berupa zat padat, penyerap hanya dipermukaan zat penyerap. Pada peristiwa adsorpsi, komponen akan berada di daerah antar muka, tetapi tidak masuk ke dalam fase. Komponen yang terserap disebut adsorbat (adsorbate), sedangkan daerah tempat terjadinya penyerapan disebut adsorben (substrate). Ada dua jenis adsorpsi berdasarkan penyerapannya, yaitu:

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi jenis ini bersifat reversible, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor kecil, interaksi dianggap hanya menghasilkan gaya van der Waals dan terjadi pada semua proses adsorpsi serta berlangsung pada temperatur rendah. Adsorpsi fisika terjadi jika daya tarik menarik antara zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya. Karena gaya tarik menarik yang lemah tersebut maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben.

Reaksi kesetimbangan dinamis dapat terjadi bila reaksi yang terjadi merupakan reaksi bolak-balik. Reaksi ditulis dengan dua anak panah yang berlawanan. Reaksi berlangsung dari dua arah, yaitu dari kiri ke kanan dan dari kanan ke kiri, zat hasil reaksi dapat dikembalikan seperti zat mula-mula. Reaksi tidak pernah berhenti karena komponen zat tidak pernah habis.

Contoh :

Adsorpsi oleh karbon aktif. Aktivasi karbon aktif pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

2. Adsorpsi kimia

Terjadi dalam bentuk reaksi kimia, membutuhkan energi aktivasi. Kalor penyerapan tinggi karena reaksi-reaksi yang membentuk reaksi kimia. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi fisika dan sulit diregenerasi. Pada peristiwa reaksi satu arah, zat-zat hasil reaksi tidak dapat bereaksi kembali membentuk zat pereaksi. Reaksi berlangsung satu arah dari kiri ke kanan. Zat hasil reaksi tidak dapat dikembalikan seperti zat mula-mula. Reaksi baru berhenti apabila salah satu atau semua reaktan habis.

Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorbent akan terbentuk suatu lapisan atau layer, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan

menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh batuan adsorbent sehingga efektifitasnya berkurang.

Adsorpsi memiliki kecepatan. Kecepatan adsorpsi adalah banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan waktu. Kecepatan adsorpsi mempengaruhi kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi adalah laju penyerapan suatu fluida oleh adsorben dalam jangka waktu tertentu. Banyak sedikitnya zat yang teradsorpsi di pengaruhi oleh:

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan Adsorpsi:

- a. Macam adsorben
- b. Macam zat yang diadsorpsi (*adsorbate*)
- c. Luas permukaan adsorben
- d. Konsentrasi zat yang diadsorpsi (*adsorbate*)
- e. Temperatur

2.4.1 Adsorben dan Adsorbat

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Kebanyakan adsorben adalah bahan- bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori- pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Kurniawan, Bayu, 2015).

- a. *Adsorben Polar* Adsorben polar disebut juga hydrophilic. Jenis adsorben yang termasuk kedalam kelompok ini adalah silika gel, alumina aktif, dan zeolit.
- b. *Adsorben non polar* Adsorben non polar disebut juga hydrophobic. Jenis adsorben yang termasuk kedalam kelompok ini adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

Adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben. Adsorbat terdiri atas dua kelompok yaitu kelompok polar seperti air dan kelompok non polar seperti methanol, ethanol dan kelompok hidrokarbon.

2.4.2 Isoterm Adsorpsi

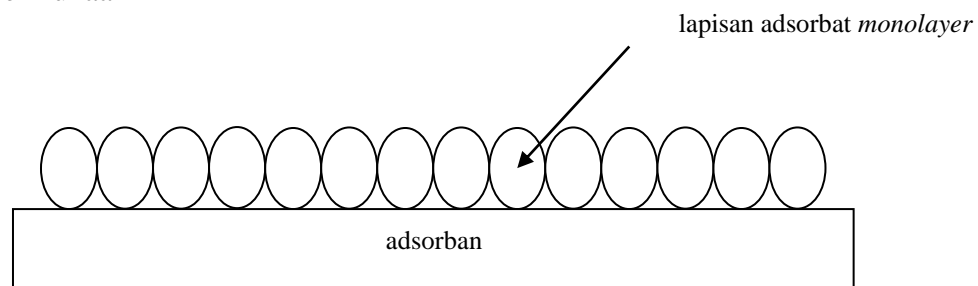
Hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan luas atau per satuan berat adsorban, dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu disebut isoterm adsorpsi.

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori *isotherm* adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben.

Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan



(Sumber : Kimia Fisika, 2016).

Gambar 3. Ilustrasi Adsorpsi dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir

Dimana persamaan Langmuir ditulis sebagai berikut:

$$X_m / m = a \cdot C / (1 + b \cdot c) \quad \dots(6)$$

$$m \cdot c / X_m = 1/a + (b/a) \cdot C \quad \dots(7)$$

dimana:

X_m = berat zat yang diadsorpsi

m = berat adsorben (zeolit)

C = konsentrasi zat

Dengan membuat kurva $m.c / X_m$ terhadap C akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $1/a$ dan kemiringan (b/a) , sehingga nilai a dan b dapat dihitung, dari besar kecilnya nilai a dan b menunjukkan daya adsorbs (Handayani, dkk, 2009).

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorban merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung (*charcoal*) dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi.

Pendekatan *isotherm* adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika y adalah berat zat terlarut per gram adsorban dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka

$$y = k c^{1/n} \quad \dots(8)$$

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad \dots(9)$$

dimana:

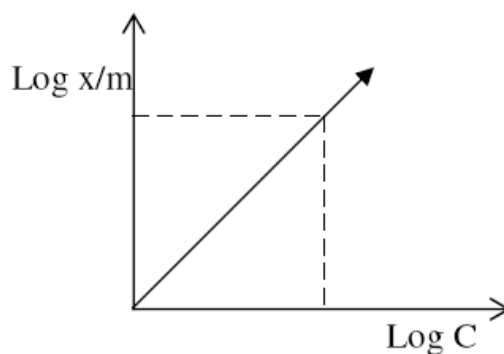
$$y = X_m / m$$

X_m = berat zat yang diadsorbsi

m = berat adsorben (zeolit)

C = konsentrasi zat

k dan n adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Plot $\log y$ terhadap $\log c$ menghasilkan persamaan linier dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung (Handayani, dkk, 2009). Dengan menggunakan kurva tersebut, maka nilai k dan n dapat ditentukan.



(Sumber : Kimia Fisika, 2016)

Gambar 4. Kurva Adsorpsi Isotherm Freundlich

Dalam kehidupan sehari-hari, kita mengenal dua istilah yang hampir sama, tetapi sebenarnya memiliki pengertian yang sedikit berbeda yaitu absorpsi dan adsorpsi. Absorpsi merupakan proses dimana substansi tidak hanya terikat pada permukaan saja, tetapi menembus lebih dalam dari permukaan dan terdistribusi ke bagian-bagian dalam dari komponen yang mengadsorpsi. Sebagai contoh, uap air terabsorpsi oleh anhidrat CaCl_2 . Sedangkan pengertian adsorpsi adalah peristiwa penyerapan molekul-molekul cairan atau gas pada permukaan adsorban, hingga terjadi perubahan konsentrasi pada cairan atau gas tersebut. Zat yang terserap disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerap disebut adsorban. Contoh dari peristiwa adsorpsi adalah larutan asam asetat diadsorpsi oleh karbon.

Pada peristiwa adsorpsi ini, bila konsentrasi zat pada bidang batas menjadi lebih besar daripada konsentrasi medan salah satu fasa adsorpsi maka disebut adsorpsi positif, demikian juga sebaliknya. Apabila konsentrasi zat pada bidang batas menjadi lebih kecil daripada konsentrasi medan salah satu fasa adsorpsi maka disebut adsorpsi negatif.

2.4.3 Mekanisme Adsorpsi

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

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

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (film diffusion process).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (pore diffusion process).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben (proses adsorpsi sebenarnya)

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

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

2.4.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu:

1. Agitation (Pengadukan)

Tingkat adsorpsi dikontrol baik oleh difusi film maupun difusi pori, tergantung pada tingkat pengadukan pada sistem.

2. Karakteristik Adsorban

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik penting karbon aktif sesuai dengan fungsinya sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi; tingkat adsorpsi naik dengan adanya penurunan ukuran partikel. Oleh karena itu adsorpsi menggunakan karbon PAC (Powdered Activated Carbon) lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan karbon GAC (Granular Activated Carbon).

3. Kelarutan Adsorbat

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

4. Ukuran Molekul Adsorbat

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

5. pH

Asam organik lebih mudah teradsorbsi pada pH rendah, sedangkan adsorbsi basa organik efektif pada pH tinggi. 6. Temperatur Tingkat adsorbsi naik diikuti dengan kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur.

6. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, ini dikarenakan perbedaan kemampuan mengikat adsorbat, Kondisi equilibrium akan dicapai pada waktu yang tidak lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu.

7. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi laju adsorpsi dan tingkat terjadinya adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu pula sebaliknya. Bagaimanapun karena proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

2.4.5 Kapasitas dan Efisiensi Adsorpsi

Kapasitas adsorbsi dapat ditentukan menggunakan rumus () dibawah ini :

$$Q = \frac{(C_0 - C_a)V}{M} \quad \dots(10)$$

Dimana :

q : kapasitas penyerapan (mg/g)

C₀ : konsentrasi awal (mg/L)

C_a : konsentrasi akhir (mg/L)

V : volume (L)

M : massa (g)

Sedangkan Efisiensi adsorpsi dapat dihitung berdasarkan persamaan (2) dibawah ini

$$\text{Efisiensi} : \frac{(C_o - C_a)}{C_o} \times 100\% \quad \dots(11)$$

2.5 Logam Besi (Fe)

Logam berat (*heavy metal*) adalah logam dengan massa jenis 5 g/cm^3 atau lebih, seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn). Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh. Besi atau ferrum (Fe) adalah salah satu logam yang paling banyak dijumpai di kerak bumi, metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk, dialam didapat sebagai hematite. Besi (Fe) memiliki nomor atom 26 dan nomor massa 56 g/mol. Dalam tabel periodic besi terletak pada golongan 8B dan periode 4. Air tawar yang alami memiliki kadar besi sekitar 0,5 mg/L sampai dengan 50 mg/L (Direktorat Penyehatan Air,1996). Kebanyakan limbah besi berbentuk limbah cair yang berasal dari industri pertambangan, logam dan otomatis.

Pada air permukaan umumnya besi ditemukan dalam bentuk endapan besi(III) dan biasanya bergabung dalam padatan tersuspensi. Besi juga ditemukan dalam bentuk besi(III) pada lapisan terdalam beberapa penampungan air yang kekurangan oksigen dan juga dalam air tanah. Besi bersifat korosif sehingga dapat membuat rusak lingkungan terutama lingkungan air, ekosistem yang ada akan tidak seimbang dikarenakan banyak organisme yang mati. Besi dalam jumlah besar pada tubuh dapat bersifat racun karena besi *ferrous* bebas bereaksi dengan *peroxide* dan membentuk radikal bebas yang sangat reaktif dan dapat merusak DNA, protein, lipid dan komponen sel lainnya. Darah dengan konsentrasi besi yang tinggi dapat merusak sel-sel jantung, hati dan organ lainnya yang pada jangka panjang dapat menyebabkan kematian (Setiawan, Asep, 2009).

2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah

dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron yang dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkar electron akan memantulkan kembali berkas electron atau dinamakan berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi.

Detector yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas electron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm.



(Sumber : Laboratorium Forensik Polda Sumsel, 2019)

Gambar 5. Alat SEM

2.7 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri serapan atom, sering disingkat sebagai AAS atau SSA adalah suatu bentuk spektrofotometri dimana spesies pengabsorbansiannya adalah atom-atom.

Prinsip dasar SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. SSA merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur yang didasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap atom. Komponen kunci pada metode ini adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel.

Cara kerja SSA berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung didalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya. Jika radiasi elektromagnetik dikenakan kepada suatu atom maka akan terjadi eksitasi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi, setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi.



(Sumber : gusnila, 2010)

Gambar 6. Alat AAS

Setelah mengalami eksitasi maka akan dipancarkan energi, tetapi yang akan dideteksi oleh detektor adalah cahaya yang diserap. Spektroskopi serapan atom terdiri dari sumber cahaya, ruang sampel dan detektor. Dalam metode ini, cahaya dari sumber langsung diteruskan dari sampel ke detektor. Semakin besar jumlah sampel, maka semakin besar pula serapan yang dihasilkan sampel. Sumber cahayanya adalah lampu berupa katoda yang terdiri dari bagian-bagian yang teratur. Setiap unsur membutuhkan lampu katoda yang berbeda. Lampu tersebut ditempatkan di dalam ruang khusus lampu.

Ruang sampel adalah pembakar sejak sumber api menyerap radiasi atom. Sinyal dari detektor dipindahkan ke komputer, dan hasilnya dapat dilihat di monitor alat SSA. Untuk sampel yang akan dianalisis di dalam pembakar, dapat

dilakukan persiapan larutan sampel di dalam pelarut yang cocok, kebanyakan dalam air.

Gas dari panas mengalir ke dalam pembakar sehingga menarik cairan ke dalam tabung dari ruang sampel. Cairan ini diubah dimana ion mengalami atomisasi. Atom menyerap cahaya dari sumber. Analisis kuantitatif ini bisa dicapai dengan kadar serapan larutan dengan konsentrasi yang diketahui. Kurva kalibrasi dan persamaan garis bisa digunakan untuk menentukan konsentrasi berdasarkan serapannya.

Tabel 2. Beberapa Nyala Logam

Logam	Warna nyala
Kalsium (Ca)	Merah
Stronsium (Sr)	Merah Tua /Jingga
Natrium (Na)	Kuning
Tembaga (Cu)	Hijau
Mangan (Mn)	Nila
Kalium (K)	Lembayung
Barium (Ba)	Hijau Kekuningan

Tabel 3. Temperatur nyala pada berbagai sumber bahan bakar

Bahan Bakar	Oksidan udara	Oksidan oksigen	N ₂ O
Hidrogen	2100	2780	-
Asetilena	2200	3050	2955
Propana	1950	2800	-

Kelebihan dari SSA, yaitu spesifik (analisis tertentu dengan panjang gelombang atau garis resonansi yang sesuai), selektif dan spesifik untuk menganalisis logam. Hal ini disebabkan karena kecepatan analisisnya, ketelitian sampai tingkat runut, tidak memerlukan pemisahan pendahuluan, relative murah dengan pengerjaan yang sederhana.