

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanoteknologi

Dunia dalam 100 tahun mendatang diprediksi akan dipenuhi oleh produk teknologi nano. Keunggulan nano partikel telah dibuktikan saat ini dengan keberadaan besi berukuran nano yang mempunyai kelenturan dan kekuatan yang jauh lebih besar dari lembaran besi dengan ukuran partikel makro. *Nanoscience* memungkinkan pada manusia untuk merekayasa sendiri komponen materi yang diinginkannya hingga merangkai sebuah materi baru dari komponen yang telah ada di alam. *Nanoscience* merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari segala sesuatu yang berkaitan dengan materi yang berukuran 0,1 nm sampai 100 nm. Sedangkan nano teknologi merupakan teknologi yang berusaha mengembangkan dan memanfaatkan semua yang sudah dipelajari dalam nano science (Monika et al., 2015).

Para ahli kimia mempelajari bagaimana membuat molekul-molekul baru, dengan hanya memutuskan ikatan antara molekul yang satu dengan yang lain dan membentuk ikatan baru untuk membentuk molekul baru. Proses inilah yang disebut reaksi kimia. Karena elektron bertanggung jawab pada terbentuknya ikatan, dan reaksi kimia hanya merupakan proses pemutusan dan penyambungan ikatan, maka elektronlah yang menentukan sifat kimia suatu atom atau molekul. Keberadaan elektron (energi ikatnya) dipakai untuk menentukan jenis ikatan dalam molekul dan sekaligus mengenal jenis senyawa kimia tertentu, karena keberadaan (energi ikat) elektron sebuah atom tergantung pada dengan atom apa dia berikatan (Lariva et al., 2015).

Nanoteknologi berkecimpung mulai dari penggabungan atom atau ion menjadi molekul untuk membentuk struktur dalam orde nanometer yang berguna untuk menghasilkan barang-barang dalam kehidupan sehari-hari. Tentu saja nanoteknologi melakukan juga proses-proses seperti reaksi kimia untuk membentuk zat cair atau padat seperti keramik, polimer, dan logam yang diatur (dimanipulasi) sedemikian rupa sehingga menghasilkan sifat-sifat kimia atau

fisika yang baru. Sebagai contohnya, nanoteknologi mengkombinasikan semua zat padat seperti keramik, logam dan polimer untuk membentuk material baru yang tidak ada di alam. Material baru ini menjadi material campuran dua atau tiga bahan dan dinamakan komposit. Bila struktur dari bahan-bahan campuran tadi dalam orde nanometer terbentuklah nanokomposit (Monika et al., 2015).

2.2 Nanokomposit

Istilah nanoteknologi digunakan untuk mendeskripsikan kreasi dan eksploitasi suatu material yang memiliki ukuran struktur diantara atom dan material ukuran besar yang didimensikan dengan ukuran nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Sifat dari material dengan dimensi nano sangat berbeda secara signifikan dari atomnya juga dari partikel besarnya. Kontrol yang baik terhadap sifat tersebut bias menuntun ke pengetahuan baru yang sesuai dengan peralatan dan teknologi baru. Pentingnya nanoteknologi pertama kali dikemukakan oleh Feynman pada tahun 1959 (Muller, 2006).

Terjadi perkembangan yang sangat cepat dari ilmu dan teknologi nano pada beberapa tahun terakhir, terutama karena ketersediaan strategi baru untuk mensintesis nanomaterial dan alat-alat baru untuk karakterisasi dan manipulasi. Terdapat banyak contoh untuk mendemonstrasikan pergeseran hasil dan paradigma terakhir pada masalah ini. Beberapa metode sintesis nanopartikel (kabel nano dan tabung nano) dan perakitanya telah ditemukan. Kabel nano dan tabung nano dengan variasi materi anorganik telah ditemukan, disamping atom karbonnya. Nanostruktur juga cocok untuk simulasi dan pemodelan komputer, ukurannya menjadi cukup kecil untuk mendukung kekuatan yang tinggi (Rao, et.al, 2004).

Nanokomposit merupakan material padat multi fase, dimana setiap fase memiliki satu, dua, atau tiga dimensi yang kurang dari 100 nanometer (nm), atau struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan anorganik yang tersusun atas komponen organik. Contoh nanokomposit yang ekstrem adalah media berporos, koloid, gel, dan kopolimer.

Nanokomposit dapat ditemukan di alam, contohnya adalah kulit tiram dan tulang (Anonim, 2009).

Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit memainkan peran penting dalam peningkatan dan pembatasan sifat material. Partikel-partikel yang berukuran nano itu mempunyai luas permukaan interaksi yang tinggi. Makin banyak partikel yang berinteraksi, kian kuat pula material. Inilah yang membuat ikatan antarpartikel makin kuat, sehingga sifat mekanik materialnya bertambah. Namun penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu yang mana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru makin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya (Hadiyawarman,dkk, 2008).

2.3 Kelebihan Nanokomposit

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan konvensional seperti logam. Misalnya memiliki densiti yang jauh lebih rendah dari pada bahan konvensional. Hal ini jelas memberi implikasi yang penting dalam konteks penggunaan. Pasalnya, komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Komposit juga memiliki kekuatan yang dapat diatur (tailorability), tahanan lelah (fatigueresistance) yang baik, tahan korosi, dan memiliki kekuatan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi (Hadiyawarman,dkk, 2008).

2.4 Aplikasi dan Penggunaan Nanokomposit

Beberapa aplikasi penting teknologi yang didasarkan material nano antara lain produksi bubuk nano keramik dan material lain, nanokomposit, pengembangan sistem nanoelektrokimia, aplikasi penggunaan tabung nano untuk menyimpan hidrogen, chip DNA dan chip untuk menguji kadar logam dalam kimia ataupun biokimia. Teknologi nano juga digunakan dalam mendeteksi gen maupun mendeteksi obat dalam bidang kedokteran. Selain itu, juga dapat digunakan dalam alat-alat nanoelektronik.

Pengembangan teknologi nano lebih lanjut dapat diaplikasikan dalam pembuatan laser jenis baru, nanosensor, nanokomputer (yang berbasis tabung nano dan material nano), dan banyak lagi aplikasi lainnya (Rao,et.al, 2004).

Struktur nano yang diperkuat dengan memanfaatkan materi keramik dan metalik penting dipertimbangkan dalam membuat bahan super kuat generasi baru, tipe baru dari *ferromagnets*, serta semen kuat yang mudah dibentuk. Contoh materi dari struktur nano yaitu nanokomposit Co/Wc serta Fe/Tic (Rao,et.al, 2004).

Teknologi lain yang saat ini baru berkembang yaitu dalam bidang pengemasan makanan antara lain, penggunaan jenis plastik baru, formulasi *biodegradable materials*, preservasi menggunakan radiasi ionisasi, preservasi menggunakan pemanasan microwave, dan preservasi menggunakan tekanan tinggi. Teknologi-teknologi tersebut perlu dievaluasi untuk mengetahui potensial bahaya dan keuntungannya, begitu juga dengan nanoteknologi. Menggunakan nanomaterial sebagai material utamanya, kemasan akan memiliki properti yang jauh lebih baik dari properti yang bukan nanomaterial. Hal ini sangat berpengaruh terhadap daya tahan dari kemasan itu sendiri. Selain itu, bila nanomaterial tersebut memiliki sifat antimikrobial juga, maka nanokomposit ini juga akan berperan sebagai surface biocides. Dan ada kemungkinan dengan penggunaan bahan baku kemasan akan lebih sedikit, karena dengan kuantitas yang sedikit telah memiliki kualitas yang sangat baik.

Selain itu, pada pengemasan nanokomposit digunakan dalam sistem pengemasan tanpa refrigerasi sehingga dapat mempertahankan kesegaran pada makan untuk beberapa tahun. Nanokomposit memiliki pencegahan (barrier) terhadap gas luar untuk kontak terhadap bahan makanan di dalamnya, termasuk gas oksigen dan karbondioksida. Hal ini dikarenakan, struktur partikel nanokomposit yang saling menutup dengan pola batu bata. Secara umum nanokomposit memiliki keuntungan dalam sifat-sifat kimia, mekanis dan fisiknya. Mengenai sifat-sifat mekanis nanokomposit, telah dikenal luas bahwa nanokomposit memiliki kelebihan dalam stabilitasnya terhadap panas sehingga tidak mengalami distorsi yang signifikan, selain itu tidak menghasilkan emisi gas saat terjadi pembakaran. Nanokomposit juga memiliki ketahanan atau

konduktivitas listrik yang baik. Pada bahan kimia, nanokomposit memiliki resistensi terhadap beberapa zat kimia untuk tidak mengalami korosi. Dengan kelebihan pada sifat-sifat yang dimiliki oleh nanokomposit tersebut, tentu akan memberikan keuntungan dalam aplikasinya dalam pengemasan selain sebagai *barrier* gas. Dengan resistensinya terhadap panas serta tidak mudah rapuh, memberikan kemampuannya dalam proses pada mikrowave, pasteurisasi, serta sterilisasi yang membutuhkan suhu yang tinggi.

2.5 Logam Berat

Logam berat (*heavy metal* atau *trace metal*) merupakan istilah yang digunakan untuk menamai kelompok metal dan *metalloid* dengan densitas/ berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 (Hutagalung, 1991). Logam berat dalam konsentrasi yang sangat rendah disebut sebagai logam renik. Logam berat (*heavy metals*) merupakan sekelompok elemen-elemen logam yang dikategorikan berbahaya jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Logam-logam seperti merkuri (Hg), nikel (Ni), kromium (Cr), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) dapat ditemukan dalam lingkungan perairan yang tercemar limbah (Nugroho, 2006). Logam berat dapat bereaksi membentuk ikatan koordinasi dengan ligan dalam tubuh berbentuk -OH, -COO-, -OPO₃H-, -C=O, -SH, -S-S-, -NH₂ dan =NH (Darmono, 1995).

Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Logam berat ini juga dapat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada di dalam sungai. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Mursyidin, 2006).

Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan. Logam berat juga dapat berpindah dari lingkungan ke organisme dan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan. Logam berat yang ada pada perairan, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi dan juga menyebabkan masyarakat yang menggunakan air yang mengandung logam berat tersebut akan memiliki peluang yang sangat besar untuk

terkontaminasi logam berat tersebut. Air yang mengandung logam berat akan menjadi bahan racun dalam tubuh makhluk hidup (Palar, 2008).

Logam berdasarkan toksisitasnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

- a. Toksisitas tinggi, contohnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), arsen (As), tembaga (Cu), dan seng (Zn).
- b. Toksisitas sedang, contohnya kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co).
- c. Toksisitas rendah, contohnya mangan (Mn) dan besi (Fe) (Darmono, 1995).

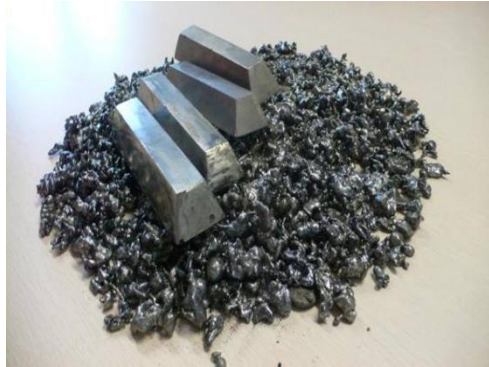
Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh. Beberapa di antaranya bersifat membangkitkan kanker (karsinogen). Demikian pula dengan bahan pangan dengan kandungan logam berat tinggi dianggap tidak layak konsumsi. Logam berat dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia.

Logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan tetapi akan tetap tinggal di dalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi. Manusia sebagai makhluk omnivora (pemakan segala), rentan sekali terkena penyakit yang berasal dari bahan makanan yang tercemar oleh logam berat. Sumber-sumber kontaminannya yaitu sayur-sayuran maupun ternak yang terkontaminasi logam berat dari air penyiramnya yang mengandung logam berat ataupun rumput yang dimakan ternak yang terkontaminasi oleh logam berat dari yang diserap (Astuti, 2013).

2.5.1. Nikel

Nikel ditemukan oleh A.F. Cronstedt pada tahun 1751 dalam mineral yang disebutnya kupfernickel (nikolit). Nikel adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat (stainless

steel) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri (Gustaman et al., 2016).



Sumber: Dara, 2019

Gambar 1. Logam Nikel (Ni)

Nikel merupakan komponen yang banyak ditemukan dalam meteorit dan menjadi ciri komponen yang membedakan meteorit dari mineral lainnya. Meteorit besi atau siderit, dapat mengandung alloy besi dan nikel berkadar 5 -25%. Nikel diperoleh secara komersial dari pentlandit dan pirotit di kawasan Sudbury Ontario, sebuah daerah yang menghasilkan 30% kebutuhan dunia akan nikel. Deposit nikel lainnya ditemukan di Kaledonia Baru, Australia, Cuba, dan Indonesia (Gian, 2018).

2.5.2 Sifat Fisik Nikel

Logam nikel merupakan logam berat yang berwarna putih keperak-perakan dengan pemolesan tingkat tinggi. Bersifat keras, mudah ditempa, sedikit ferromagnetis, dan merupakan konduktor yang agak baik terhadap panas dan listrik. Nikel tergolong dalam grup logam besi- kobal, yang dapat menghasilkan alloy yang sangat berharga. Senyawa nikel umumnya bersifat bivalen, meskipun terdapat pula tingkat valensi lainnya. Unsur ini juga membentuk sejumlah senyawa kompleks. Sebagian besar senyawa nikel berwarna biru atau hijau. Sifat logam nikel yang lainnya terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik Logam Nikel

Sifat Fisik	Keterangan
Simbol	Ni
Nomor atom	28
Massa atom relatif	58,6934 g.mol ⁻¹
Titik didih	2913°C (3186 K, 5275°F)
Titik Lebur	1455°C (1728 K, 2651°F)
Kalor Penguapan	377,5 kJ.mol ⁻¹
Kalor Peleburan	17,48 kJ.mol ⁻¹
Klasifikasi	Logam transisi
Struktur	Kristal Kubik
Densitas	293 K 8,9 g.cm ⁻³

Sumber : M. Carnes et al, 2009

2.5.3 Sifat Kimia Nikel

- Pada suhu kamar bereaksi lambat dengan udara.



- Jika dibakar, reaksinya berlangsung cepat membentuk oksida NiO.



- Bereaksi dengan Cl₂ membentuk NiCl₂



- Larut dalam HNO₃ dan aquaregia



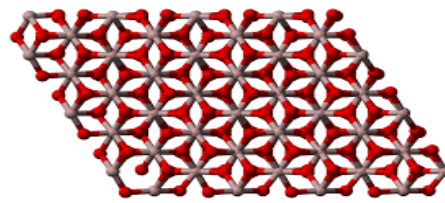
- Bereaksi dengan H₂S menghasilkan endapan hitam (sedikit larut)



- Tidak bereaksi dengan basa alkali
- Tidak larut dalam air dan amoniak

2.6 Alumina (Al₂O₃)

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al₂O₃. Secara alami, alumina terdiri dari mineral korundum, dan memiliki bentuk kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Sumber: Hudson, 2002

Gambar 2. Struktur kristal mineral korondum alumina

Senyawa ini termasuk dalam kelompok material aplikasi karena memiliki sifat-sifat yang sangat mendukung pemanfaatannya dalam beragam peruntukan. Senyawa ini diketahui merupakan insulator listrik yang baik, sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi, karena memiliki kapasitas panas yang besar (Xu, et al., 1994).

Alumina juga dikenal sebagai senyawa berpori sehingga dimanfaatkan sebagai adsorben. Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah daya tahan terhadap 9 korosi dan titik lebur yang tinggi, yakni mencapai 2053-2072 °C (Budvari, 2001).

Secara umum alumina ditemukan dalam tiga fasa, yang dikenal sebagai γ , β dan α alumina. Ketiga fasa di atas diketahui memiliki sifat-sifat yang berbeda, sehingga memiliki aplikasi yang khas (unik). Beta alumina (β -Al₂O₃) memiliki sifat tahan api yang sangat baik sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi keramik seperti pembuatan tungku furnace (Arribart and Vincent, 2001).

Gamma alumina (γ -Al₂O₃) banyak digunakan sebagai material katalis, contohnya dalam penyulingan minyak bumi dan digunakan dalam bidang otomotif. Alfa alumina (α -Al₂O₃) mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a = 4,7588$ dan $c = 12,9910$ nm. Alfa alumina banyak digunakan sebagai salah satu bahan refraktori dari kelompok oksida, karena bahan tersebut mempunyai sifat fisik, mekanik dan termal yang sangat baik (Mirjalili, et al., 2011).

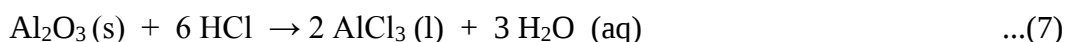
Salah satu sifat kimia dan fisika aluminium adalah ketahanan logam ini terhadap serangan korosi. Aluminium merupakan salah satu logam bermassa jenis rendah yang sangat tahan terhadap oksidasi/korosi. Ini dikarenakan terbentuknya lapisan oksida halus (saat logam ini terpapar udara) yang menghalangi oksidasi

lebih lanjut terhadap lapisan logam di bagian yang lebih dalam. Reaksi kimianya sebagai berikut :



Dari reaksi kimia (i), lapisan oksida yang seketika terbentuk di udara terbuka bersifat sangat rapat dan sulit ditembus lebih lanjut oleh gas oksigen, sehingga oksidasi lanjutan menjadi hampir terhenti, dan berlangsung dengan sangat lambat. Hal inilah yang menyebabkan logam ini menjadi inert (kebal) terhadap udara dan sebagian zat-zat kimia.

Tak seperti terhadap udara, oksida Al bereaksi cepat dengan HCl, membentuk larutan AlCl_3 .



Lepasnya lapisan tipis Al_2O_3 dipermukaan kulit logam menyebabkan mudahnya logam Al bereaksi dengan larutan HCl, seperti persamaan reaksi berikut.



Reaksi (8) berlangsung cepat dan menghasilkan panas yang terus meningkat. Reaksi berlangsung makin cepat seiring makin naiknya temperatur cairan. Laju reaksi menurun sesaat jika cairan diencerkan menggunakan air, dan naik kembali seiring naiknya suhu larutan.

2.6.1. Sifat Fisika Aluminium

Aluminium adalah logam yang relatif lunak, ringan, ulet, tahan lama, dan mudah ditempa. Logam yang baru ditempa/dicetak memiliki penampilan keperakan mengkilap, lama-kelamaan warna memudar menjadi perak abu-abu kusam.

Aluminium memiliki massa jenis $2,70 \text{ g/cm}^3$. Logam ini merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, memiliki 60% konduktivitas tembaga, sedangkan massa jenisnya hanya 30% dari massa jenis tembaga. Meskipun konduktivitasnya lebih rendah dari tembaga, namun dalam hal umur pemakaian, logam ini lebih unggul, karena ketahanan terhadap korosi yang jauh lebih baik.

2.7 Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)

Besi(III) oksida dikenal juga dengan nama bijih besi adalah salah satu senyawa oksida dari besi dan mempunyai rumus kimia Fe_2O_3 dan mempunyai sifat paramagnetik. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mempunyai struktur rhombohedral, korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) dan merupakan bentuk yang paling umum ditemukan. Senyawa dalam bentuk ini terbentuk secara alamiah sebagai mineral bijih besi yang ditambang sebagai bijih besi utama. Senyawa ini bersifat antiferromagnetik di bawah suhu 260 °K dan ferromagnetik lemah antara 260 °K dan 950 °K (suhu Neel). Besi (III) oksida mudah disiapkan menggunakan dekomposisi termal dan pengendapan dalam suatu cairan. Sifat magnetiknya dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tekanan, ukuran partikel, dan intensitas medan magnet. Berikut ini adalah sifat-sifat dari Fe_2O_3 :

Massa molar : 159,69 g/mol

Bentuk : Padatan

Warna : Merah kecoklatan

Titik lebur : 1566 °C

Densitas : 5,242 g/cm³

Kelarutan : Tidak larut

Titik nyala : Tidak mudah terbakar (Nurlaeli, 2013).

2.8 Adsorpsi

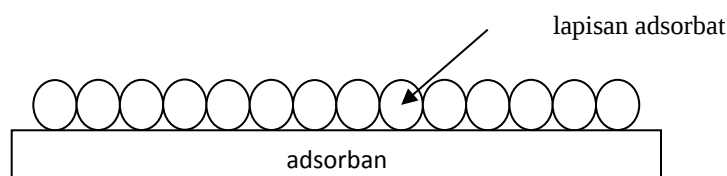
Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya. Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan ke dalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan, tidak masuk dalam fasa bulk/ruah (Shofa, 2012).

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 adsorben akan terbentuk suatu lapisan atau layer, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh batuan adsorben sehingga efektifitasnya berkurang. Hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan luas atau per satuan berat adsorban, dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu disebut isoterm adsorpsi. Umumnya terdapat 3 jenis isoterm adsorpsi, yaitu:

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori *isotherm* adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. 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: Handayani dan sulistiyono, 2009

Gambar 3. Pendekatan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada kesetimbangan, laju adsorpsi dan desorpsi gas adalah sama. Bila θ menyatakan fraksi yang ditempati oleh adsorbat dan P menyatakan tekanan gas yang teradsorpsi, maka

$$k_1\theta = k_2P(1 - \theta) \quad \dots (9)$$

dengan k_1 dan k_2 masing – masing merupakan tetapan laju adsorpsi dan desorpsi. Jika didefinisikan $a = k_1 / k_2$, maka

$$\theta = \frac{P}{(a + P)} \quad \dots (10)$$

Pada adsorpsi *monolayer*, jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan P (y) dan jumlah gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer* dihubungkan dengan θ melalui persamaan

$$\theta = \frac{y}{y_m} \quad \dots (11)$$

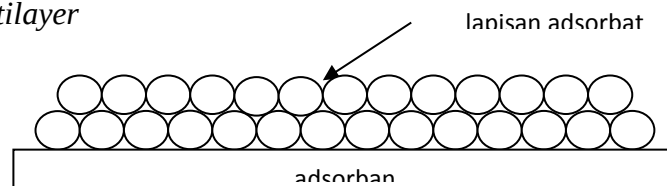
$$y = \frac{y_m P}{a + P} \quad \dots (12)$$

Teori *isotherm* adsorpsi Langmuir berlaku untuk adsorpsi kimia, dimana reaksi yang terjadi adalah spesifik dan umumnya membentuk lapisan *monolayer*.

b. Isoterm Adsorpsi BET

Teori isoterm adsorpsi BET merupakan hasil kerja dari S. Brunauer, P.H. Emmet, dan E. Teller. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, *isotherm* adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer*. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorban) membentuk lapisan *monolayer*
2. Penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*



Sumber: Handayani dan Sulistiyono, 2009

Gambar 4. Pendekatan Isoterm Adsorpsi BET

Adsorban dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta c . Lapisan adsorbat akan terbentuk sampai tekanan uapnya mendekati tekanan uap dari gas yang teradsorpsi. Pada tahap ini, permukaan dapat dikatakan "basah (*wet*)". Bila V menyatakan volume gas teradsorpsi, V_m menyatakan volume

gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer*, dan x adalah P/P^* , maka *isotherm* adsorpsi BET dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)} \quad \dots (13)$$

Kesetimbangan antara fasa gas dan senyawa yang teradsorpsi dapat dibandingkan dengan kesetimbangan antara fasa gas dan cairan dari suatu senyawa. Dengan menggunakan analogi persamaan Clausius – Clapeyron, maka

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \quad \dots (14)$$

dimana ΔH_{ads} adalah entalpi adsorpsi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan kesetimbangan dari gas teradsorpsi bergantung pada permukaan dan entalpi adsorpsi.

c. Isoterm Adsorpsi Freundlich

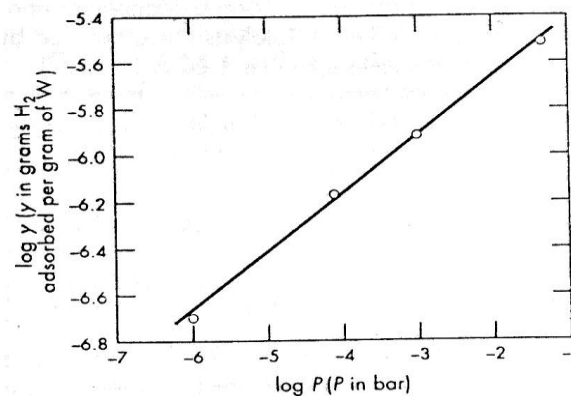
Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorban merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung (*charcoal*) dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi.

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

$$y = k c^{1/n} \quad \dots (15)$$

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad \dots (16)$$

dimana k dan n adalah konstanta empiris. Plot $\log y$ terhadap $\log c$ atau $\log P$ menghasilkan kurva linier. Dengan menggunakan kurva tersebut, maka nilai k dan n dapat ditentukan.



Sumber: Handayani dan Sulistiyono, 2009

Gambar 5. Plot *isotherm* Freundlich untuk adsorpsi H₂ pada tungsten (400°C)

2.8.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibedakan 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Treybal, 1980).

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals adalah gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150–200°C selama 2-3 jam.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer sehingga pendekatan yang

digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Adsorpsi kimia tidak bersifat reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi diatas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.

2.8.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Adsorpsi dapat dipengaruhi oleh bebrapa faktor selama proses tersebut berlangsung. Secara umum proses 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 terbentuk ion 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 akan meningkat dengan meningkatnya luas permukaan. Jadi, semakin luas permukaan adsorben maka adsorpsi akan semakin besar sebab kemungkinan adsorbat untuk diadsorpsi juga semakin besar (Firdaus, 2012).

2.9 Metode Sol Gel

Metode sol gel merupakan salah satu metode yang paling sukses dalam mempreparasi material oksida logam berukuran nano. Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoksi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel

padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis (Paveena et al., 2010).

Gel (gelation) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan oxygen bridge (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida (Paveena et al., 2010).

Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbedabeda bergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa powder, film, 6 aerogel, atau serat. Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal, diantaranya:

- a) Pemilihan bahan baku material
- b) Laju hidrolisis dan kondensasi
- c) Modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel.

Metode sol gel cocok untuk preparasi *thin film* dan material berbentuk *powder*. Tujuan preparasi ini agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional

khusus (elektrik, optik, magnetik, dll). Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain:

- a) Mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik)
- b) Temperatur proses rendah
- c) Biaya murah.

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang

cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “wet method” atau metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol (Phumying et al., 2010).

2.10 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri serapan atom, sering disingkat sebagai AAS atau SSA adalah suatu bentuk spektrofotometri dimana spesies pengabsorbsiannya adalah atom-atom. (Underwood, 1996:430).

Spektrofotometer serapan atom (AAS) merupakan teknik analisis kuantitatif dari unsur-unsur yang pemakaiannya sangat luas, diberbagai bidang karena prosedurnya selektif, spesifik, biaya analisa relatif murah, sensitif tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standar, waktu analisa sangat cepat dan mudah dilakukan. Analisis AAS pada umumnya digunakan untuk analisa unsur, teknik AAS menjadi alat yang canggih dalam analisis ini disebabkan karena sebelum pengukuran tidak selalu memerlukan pemisahan unsur yang ditentukan karena kemungkinan penentuan satu logam unsur dengan kehadiran unsur lain dapat dilakukan, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia. AAS dapat digunakan untuk mengukur logam sebanyak 61 logam.

Cara kerja SSA berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung didalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorbsi 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: Laboratorium Kimia Analitik Dasar, 2019

Gambar 6. Alat Spektrofotometri Serapan Atom

2.11 X-Ray Diffraction (XRD)

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) berperan penting dalam proses analisis padatan kristalin. XRD adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman, 2000: 145). Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($\lambda = 400\text{-}800 \text{ nm}$) (Smallman, 2000: 145).

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. Jarak interplanar dapat dihitung hingga empat atau lebih angka signifikan dengan mengukur sudut difraksi. Ini merupakan dasar untuk menentukan jarak interatomik dan menghitung jari-jari (Lawrence H. Van Vlack, 2004: 94). Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar (Dwi, 2010).

Suatu material jika dikenai sinar-X maka intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang, hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya yang sama. Berkas sinar-X yang menguatkan (interferensi konstruktif) dari gelombang yang terhambur merupakan peristiwa difraksi. Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan terhambur ke segala arah, agar terjadi interferensi konstruktif antara sinar yang terhambur dan beda jarak lintasnya maka harus memenuhi pola $n\lambda$ (Taqiyah, 2012).

Metode difraksi sinar-x dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Metode kristal tunggal. Metode ini sering digunakan untuk menentukan struktur kristal, dalam ini dipakai berbentuk kristal tunggal.
2. Metode serbuk (*powder method*).

Bahan sampel pada metode kedua dibuat berbentuk serbuk, sehingga terdiri banyak kristal yang sangat kecil dan orientasi sampai tidak perlu diatur lagi karena semua orientasi bidang telah ada dalam sampel dengan demikian hukum Bragg dapat dipenuhi. Metode serbuk lebih cepat dan lebih sederhana dibandingkan dengan metode kristal tunggal. Metode serbuk ini dapat digunakan untuk menganalisa bahan apa yang terkandung di dalam suatu sampel juga dapat ditentukan secara kuantitatif (Cullity, 1956).