

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

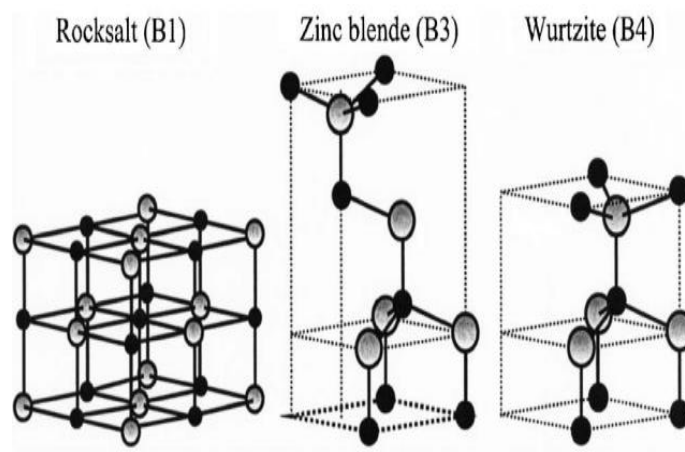
#### **2.1 Seng Oksida (ZnO)**

Seng Oksida (ZnO) merupakan senyawa yang termasuk ke dalam kelompok semikonduktor II-VI dan berada di antara semikonduktor kovalen dan ionik. Karakteristik dari seng oksida di antaranya adalah memiliki nilai celah pita energi yang tinggi yaitu sebesar 3,37 eV, energi ikat eksiton sebesar 60 meV pada temperatur ruang, bersifat transparan terhadap cahaya tampak, tidak beracun, memiliki stabilitas kimia yang baik, serta bersifat antibakteri dan piezoelektrik. ZnO juga memiliki sifat ramah lingkungan, mobilitas elektron yang tinggi, adsorpsi yang baik dan biaya sintesis serta operasi yang rendah. Berdasarkan sifat tersebut, ZnO banyak digunakan dalam berbagai aplikasi contohnya dalam deteksi cahaya ultraviolet, sel surya, transduser, sensor, dan fotokatalis [2]. Karena sifat kekerasan, kekakuan, dan piezoelektriknya, ZnO ini juga digunakan dalam industri keramik, sementara sifatnya yang tidak beracun dan biokompatibilitas yang baik digunakan dalam aplikasi biomedis [3].

Pada aplikasi sensor gas, ZnO bersifat stabil dan memiliki sifat selektivitas yang rendah terhadap beberapa jenis gas yang dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur lain. Suhu kerja dari ZnO cenderung tinggi yaitu sekitar 400-500 °C, namun penggunaan partikel berukuran nano dapat menurunkan suhu hingga 300 °C. Tingkat sensitivitas bergantung pada porositas dan ukuran butir dari bahan.

Tingkat sensitivitas dapat meningkat dengan menurunnya ukuran partikel seng oksida [4].

ZnO dapat terbentuk sebagai struktur satu dimensi, dua dimensi, maupun tiga dimensi. Struktur satu dimensi yang terbentuk dapat berupa *nanorod*, *nanoneedles*, *nanohelix*, *nanosprings*, *nanorings*, *nanoribbons*, *nanotubes*, *nanowires*, dan *nanocombs*. ZnO juga dapat ditemukan dalam bentuk dua dimensi sebagai struktur *nanosheet* dan *nanopellet*. Dalam bentuk tiga dimensi, struktur ZnO yang dapat terbentuk di antaranya adalah struktur menyerupai bunga atau kepingan salju. ZnO merupakan salah satu material yang menghasilkan variasi struktur partikel terbanyak di antara semua material yang diketahui [4].



**Gambar 2.1** Struktur Kristal ZnO [5]

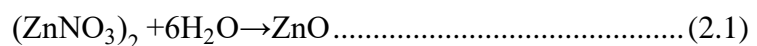
Struktur kristal dari ZnO dapat berupa *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt*. Struktur *wurtzite* dapat terbentuk pada kondisi *ambient* dan merupakan fasa yang stabil secara termodinamika. *Zinc blende* dapat tumbuh secara stabil pada substrat kubik. Sementara struktur *rocksalt* dapat dihasilkan pada tekanan yang relatif tinggi. ZnO umumnya merupakan semikonduktor tipe n. Hal ini disebabkan oleh

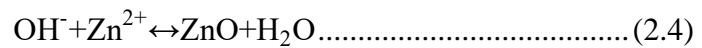
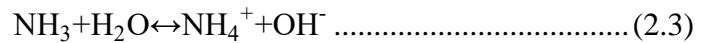
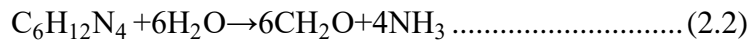
adanya cacat titik pada struktur ZnO yang dapat berupa vakansi atau interstisi serta adanya dislokasi planar. Adanya vakansi oksigen dan interstisi seng di dalam kisi dapat menyebabkan ZnO memiliki konduktivitas tipe n [5].

## 2.2 Sintesis ZnO

Sintesis ZnO dapat dilakukan dengan beberapa jenis metode seperti *vapour deposition*, presipitasi di dalam larutan air, sintesis hidrotermal, proses sol-gel dan presipitasi dari mikroemulsi dan proses mekanokimia. Metode tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan produk dengan partikel dengan bentuk, ukuran dan struktur spasial yang berbeda [4]. ZnO berstruktur nano dapat dihasilkan menggunakan metode berupa *Pulse Laser Deposition* (PLD), *Chemical Vapor Deposition* (CVD), *Chemical Bath Deposition* (CBD), hidrotermal dan reaksi kimia [3].

Bahan yang digunakan sebagai prekursor dalam sintesis ZnO adalah  $Zn(NO_3)_2$  atau seng nitrat tetrahidrat.  $Zn(NO_3)_2$  digunakan sebagai sumber ion Zn yang dibutuhkan untuk menghasilkan ZnO. Pada proses pembuatan prekursor,  $Zn(NO_3)_2$  akan terionisasi menjadi ion Zn dan ion nitrat. Reaksi ini dapat diamati pada persamaan 2.1.  $Zn(NO_3)_2$  umumnya digunakan dalam bentuk hidrat sebagai  $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ . Heksametilentetramin atau HMTA ( $C_6H_{12}N_4$ ) adalah salah satu bahan prekursor yang digunakan dalam sintesis ZnO. HMTA dan air dapat bereaksi menghasilkan ion hidroksida. Reaksi yang terjadi pada HMTA dapat diamati pada persamaan 2.2 hingga 2.4





Pada reaksi tersebut, HMTA dengan adanya air mengalami penguraian membentuk formaldehida dan amonia. Amonia yang dihasilkan dari reaksi tersebut dapat bereaksi kembali dengan air untuk menghasilkan ion amonium dan ion hidroksida.  $\text{OH}^-$ .  $\text{Zn}^{2+}$  hasil dari garam Zn yang terlarut dalam air, akan mengalami proses kristalisasi dan bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  membentuk ZnO [6].

Proses pembuatan ZnO umumnya dilakukan dengan metode deposisi pada suhu tinggi, hal ini menyebabkan polimer yang rentan terhadap panas kurang cocok digunakan sebagai substrat. Salah satu teknik deposisi yang dapat dilakukan pada suhu ruang adalah *atomic layer deposition* (ALD) dimana prekursor dapat bereaksi dengan permukaan substrat melalui proses deposisi berulang secara terus menerus hingga membentuk lapisan tipis. Teknik ini memungkinkan penggunaan polimer sebagai substrat. Pada beberapa jenis polimer dengan permukaan tanpa grup hidroksil seperti PMMA, *polyvinyl chloride* dan *polystyrene*. Prekursor awal dapat terperangkap pada permukaan berpori dari material plastik. Prekursor tersebut kemudian dapat bertindak sebagai inti nuklei untuk pertumbuhan prekursor selanjutnya hingga terbentuk lapisan. PMMA merupakan salah satu jenis polimer yang dapat digunakan sebagai substrat. PMMA digunakan karena memiliki sifat tembus pandang terhadap cahaya, memiliki stabilitas kimia yang baik, bersifat stabil pada lingkungan *aqueous*, sifat mekanik yang baik dan harga yang relatif murah [7].

Sensor *chemiresistor* berbasis ZnO umumnya memiliki mekanisme deteksi dengan memanfaatkan adsorpsi dari spesies target menuju lokasi oksida aktif seperti spesies oksigen yang teradsorpsi dan cacat struktural jarak pendek. Adsorpsi molekul gas yang bersifat mengoksidasi seperti SO<sub>2</sub> dapat menghilangkan dan mengurangi elektron dari pita konduksi sehingga menghasilkan penurunan konduktivitas dari sensor *chemiresistor* ZnO. Sementara itu, molekul gas yang dapat mereduksi seperti CO dapat bereaksi dengan spesies oksigen lalu teradsorpsi menuju permukaan dan memberikan elektron sehingga konduktivitas meningkat [8]. Untuk meningkatkan parameter pendeteksi seperti sensitivitas, selektivitas dan stabilitas dari semikonduktor logam oksida seperti ZnO, material aktif dengan struktur nano yang kompleks seperti heterojungsi dapat digunakan untuk meningkatkan reaksi antara material pendeteksi dan material yang dideteksi [9].

Perak (Ag) merupakan salah satu logam mulia yang memiliki sifat fisik dan kimia yang stabil. Perak merupakan material konduktor yang baik dan memiliki sifat katalitik yang baik sehingga sering digunakan dalam sensor. Perak dapat berfungsi sebagai bahan aditif dalam pembuatan heterojungsi logam oksida dengan logam mulia. Penambahan Ag pada ZnO dapat menghasilkan peningkatan sensitivitas dan performa dari sensor [10]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yousefi dkk [1], dilakukan pembuatan sensor Ag-ZnO dengan metode sol-gel yang kemudian diuji untuk mengetahui sifat sensitivitas terhadap gas. Penelitian tersebut menunjukkan peningkatan sifat responsi sensor terhadap gas etanol pada sensor Ag-ZnO dibandingkan dengan ZnO murni. Peningkatan mekanisme deteksi ini berhubungan dengan adanya efek katalitik dari Ag dan pembentukan heterojungsi

Ag-ZnO. Sebagai logam mulia, Ag memiliki efek kalitik terhadap oksigen dan gas etanol serta dapat meningkatkan adsorpsi ion oksigen pada permukaan ZnO. Pembentukan heterojungsi logam oksida dengan logam mulia menyebabkan elektron bergerak dari ZnO menuju permukaan Ag sehingga meningkatkan tinggi *barrier* dan lebar dari *electron double layer* (EDL) pada sensor. Ketika terdapat etanol, maka elektron yang dilepaskan dapat mengurangi lebar EDL dan menghasilkan sinyal yang dapat dideteksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jiaqiang Xu dkk [11], bubuk ZnO menunjukkan respons gas yang baik terhadap alkohol. ZnO sebagai logam oksida tipe n dapat mengadsorpsi molekul oksigen di udara dan membentuk ion oksigen dengan menangkap elektron dari pita konduktansi. Hal ini menyebabkan resistansi ZnO meningkat. Ion oksigen dapat berinteraksi dengan molekul etanol sehingga elektron dapat kembali mengisi pita konduktansi dan menurunkan resistansi ZnO.

Penelitian yang dilakukan Zhihong Jing dan Jinhua Zhan [12] mengenai fabrikasi dan sifat deteksi gas dari pelat nano ZnO berpori menunjukkan bahwa pelat nano ZnO berpori memiliki respon yang kuat terhadap adanya gas etanol pada suhu operasi yang relatif tinggi yaitu 250 °C hingga 450 °C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Abdul Hamid dkk [13], partikel ZnO ditumbuhkan pada substrat indium timah oksida dan digunakan dalam pembuatan elektroda untuk mendeteksi cairan etanol pada kisaran 7-25 mM. Elektroda yang digunakan menunjukkan tingkat sensitivitas yang tinggi sebesar  $8,14 \mu\text{AmM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$  dan memiliki potensi yang baik untuk dijadikan sebagai sensor etanol cair.

### 2.3 Sensor Kapasitif

Sensor kapasitif merupakan sensor yang mendeteksi adanya perbedaan atau variasi fisik dan memberikan respon berupa perbedaan pada kapasitansi [14]. Sensor kapasitif umumnya memiliki komponen kapasitor di dalamnya. Kapasitor secara sederhana terdiri dari dua buah pelat konduktif yang dipisahkan oleh bahan non konduktif yang disebut dielektrik. Kapasitansi merupakan sifat listrik dari kapasitor. Kapasitansi dipengaruhi dari geometri dari bahan konduktor yang digunakan serta sifat material dielektrik pada kapasitor. Kapasitansi dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut.

$$C = \epsilon_r \frac{\epsilon_0 A}{d} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif,  $\epsilon_0$  merupakan konstanta dielektrik ruang hampa sebesar  $8,854 \times 10^{-12}$  F/m, A merupakan luas permukaan pelat dalam  $m^2$  dan d adalah jarak antar pelat dalam meter. Sensor kapasitif dapat mendeteksi adanya perubahan pada posisi atau sifat dielektrik pada material dan mengubahnya menjadi sinyal listrik [15].

Sensor kapasitif bekerja berdasarkan prinsip pengukuran kapasitif dimana terjadi adanya interaksi antara benda uji dan medan listrik yang dihasilkan oleh sensor. Medan listrik dihasilkan oleh elektroda sensor yang kemudian dapat menembus benda uji sehingga menyebabkan terjadinya perpindahan elektrik di dalam benda uji. Perpindahan ini menghasilkan medan lain yang dapat merubah muatan yang tersimpan di antara elektroda sensor yang kemudian dapat mengubah nilai kapasitansi antar elektroda. Perubahan ini dapat digunakan untuk menyimpulkan sifat dari benda uji [16].

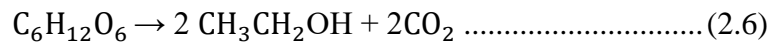
## 2.4 Alkohol

Alkohol adalah senyawa hidrokarbon organik yang mengandung gugus fungsi hidroksil yang terdiri dari gugus hidroksil (-OH) dan karbon (C). Spesies alkohol yang umum digunakan adalah metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), dan isopropil alkohol ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ). Istilah alkohol dalam dunia perdagangan umumnya digunakan untuk etanol [17]. Di antara jenis senyawa alkohol, etanol adalah senyawa yang lebih tidak beracun sehingga banyak digunakan dalam produk makanan dan minuman. Alkohol (etanol) memiliki sifat tidak berwarna atau transparan, mudah menguap, dan dapat bercampur dengan air. Etanol adalah substansi yang dapat mengubah suasana hati dengan efek tertentu. Konsumsi etanol dapat menyebabkan penurunan kesadaran, mabuk dan jika dikonsumsi secara berlebihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan serta kecanduan. Ketika dikonsumsi, etanol dapat terserap dengan cepat dan menyebar ke seluruh tubuh. Etanol tidak dapat disimpan di dalam tubuh dan perlu melalui tahap metabolisme di organ hati untuk dapat dihilangkan. Etanol memiliki kandungan energi yang tinggi tetapi tidak memiliki kandungan mineral, vitamin, karbohidrat, lemak dan protein sehingga dapat menyebabkan malnutrisi. Alkohol dapat bekerja sebagai depresan pada sistem saraf pusat dan sebagai diuretik serta dapat mempengaruhi beberapa sistem neurotransmitter seperti sistem serotonin dan dopamin [18].

Alkohol dibuat melalui proses fermentasi dari hasil pertanian yang mengandung karbohidrat seperti biji-bijian, umbi-umbian, dan buah-buahan. Proses fermentasi dilakukan dengan penambahan ragi pada bahan baku. Ragi mengubah gula atau karbohidrat sederhana menjadi etanol dan karbon dioksida. Gula yang



digunakan umumnya berupa sukrosa dan glukosa. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut [19].



Etanol diproduksi dari glukosa melalui proses konsumsi fermentatif dari piruvat yang merupakan produk akhir dari proses glikolisis. Glikolisis merupakan proses metabolik yang mengubah glukosa menjadi piruvat dan ATP. Pada beberapa jenis jaringan tanaman, invertebrata dan mikroorganisme tertentu seperti ragi, piruvat ketika berada dalam kondisi anaerobik dapat terfermentasi menjadi alkohol [18].

Minuman beralkohol diproduksi dari cairan yang mengandung alkohol hasil dari fermentasi gula yang berasal dari bahan baku seperti biji-bijian, buah-buahan, dan sumber gula lainnya. Minuman beralkohol memiliki berbagai jenis yang bervariasi dan dapat dikategorikan berdasarkan cara pembuatan, karakteristik maupun kandungan alkohol. Beberapa jenis minuman beralkohol di antaranya adalah *wine*, *angchu*, *beer* dan *rum*. *Wine* adalah minuman beralkohol yang didapatkan dari fermentasi buah anggur yang dihancurkan. Proses fermentasi untuk menghasilkan alkohol dapat dilakukan secara penuh maupun sebagian. Jenis anggur yang digunakan dapat mempengaruhi *wine* yang dihasilkan. *Red wine* adalah *wine* yang dibuat menggunakan buah anggur merah bersama dengan kulitnya sedangkan *white wine* dibuat dengan anggur putih tanpa kulit. Kandungan alkohol di dalam *wine* berada di antara 5,5% hingga 20%. Angciu atau *Huangjiu* adalah minuman beralkohol yang difermentasi dari beras, ketan. Angciu umumnya digunakan sebagai bahan tambahan dalam masakan sementara *huangjiu* dikonsumsi secara langsung. Minuman ini memiliki rasa yang unik dan kandungan alkohol yang

rendah [20]. *Beer* merupakan salah satu minuman beralkohol yang terbuat dari bahan berupa *barley* (malt), *hops*, ragi dan air. Selain *barley*, bahan baku lain yang mengandung gula atau pati juga digunakan dalam proses persiapan enzim mikroba. Kandungan etanol pada *beer* berkisar antara 1 % hingga 5,5% Rum dibuat dari molase atau sari tebu yang difermentasi lalu didistilasi. Pada daerah yang membudidayakan tebu, produksi rum menggunakan sirup gula atau ekstrak gula dengan tambahan produk samping dari pengolahan tebu. Kandungan dari rum berkisar antara 40%-50% [21].

**Tabel 2.1** Komposisi kimia dalam *Red wine, White wine, Beer, Angciu dan Rum*  
[22], [23], [24], [20], [25]

| NO | Nama Minuman      | Asal Fermentasi   | Kandungan Kimia                        |           |
|----|-------------------|-------------------|--|-----------|
|    |                   |                   | Jenis                                  | Komposisi |
| 1. | <i>Red Wine</i>   | Buah Anggur Merah | Air                                    | 86%       |
|    |                   |                   | Ethanol                                | 12%       |
|    |                   |                   | Gliserol, Polisakarida, Alkohol tinggi | 1 %       |
|    |                   |                   | Asam Organik                           | 0,4%      |
|    |                   |                   | Polifeno (Anthocyanin, Tannin)         | 0,1%      |
|    |                   |                   | Mineral, Senyawa Lainnya               | 0,5%      |
| 2. | <i>White Wine</i> | Buah Anggur Putih | Alkohol                                | 8-15%     |
|    |                   |                   | Asam Tartarat                          | 2,35 g/L  |
|    |                   |                   | Asam Malat                             | 1,41 g/L  |
|    |                   |                   | Asam Laktat                            | 0,8 g/L   |
|    |                   |                   | Fruktosa                               | 3,48 g/L  |
|    |                   |                   | Glukosa                                | 1,13 g/L  |

| NO | Nama Minuman | Asal Fermentasi     | Kandungan Kimia        |               |
|----|--------------|---------------------|------------------------|---------------|
|    |              |                     | Jenis                  | Komposisi     |
| 3. | <i>Beer</i>  | <i>Barley, Hops</i> | Air                    | 90-94%        |
|    |              |                     | Etanol                 | 3-5% v/v      |
|    |              |                     | Karbohidrat            | 1-6% w/v      |
|    |              |                     | Karbon dioksida        | 3,5-4,5 g/L   |
|    |              |                     | Garam inorganik        | 500-4000 mg/L |
|    |              |                     | Asam organik           | 50-250 mg/L   |
|    |              |                     | Alkohol tinggi         | 100-300 mg/L  |
|    |              |                     | Aldehida               | 30-40 mg/L    |
|    |              |                     | Ester                  | 25-40 mg/L    |
|    |              |                     | Senyawa Sulfur         | 1-10 mg/L     |
| 4. | Angchu       | Beras               | <i>Ethyl acetate</i>   | 36,52 mg/L    |
|    |              |                     | <i>Ethyl butyrate</i>  | 6,67 mg/L     |
|    |              |                     | <i>Ethyl hexanoate</i> | 0,81 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl Oenanthate       | 0,15 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl Caprylate        | 0,75 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl Benzoate         | 1,54 mg/L     |
|    |              |                     | Phenethyl acetate      | 0,69 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl laurate          | 0,25 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl myristate        | 0,56 mg/L     |
|    |              |                     | Ethyl palmitate        | 0,37 mg/L     |
|    |              |                     | 1-propanol             | 31,2 mg/L     |
|    |              |                     | Isobutanol             | 57,18 mg/L    |
|    |              |                     | Isoamyl alcohol        | 127,35 mg/L   |
|    |              |                     | Butanediol             | 4,55 mg/L     |
|    |              |                     | Phenethyl alcohol      | 53,21 mg/L    |
| 5. | <i>Rum</i>   | Molase              | Acetaldehyde           | 20-150 mg/L   |
|    |              |                     | Acetone                | 1,5 mg/L      |

| NO | Nama Minuman | Asal Fermentasi | Kandungan Kimia                     |            |
|----|--------------|-----------------|-------------------------------------|------------|
|    |              |                 | Jenis                               | Komposisi  |
|    |              |                 | 4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzoic acid | 1,95 mg/L  |
|    |              |                 | n-propyl alcohol                    | 73,4 mg/L  |
|    |              |                 | 2-butenal                           | 15,4 mg/L  |
|    |              |                 | Cyclopentanone                      | 1,31 mg/L  |
|    |              |                 | Ethyl acetate                       | 79,8 mg/L  |
|    |              |                 | sec-butyl alcohol                   | 17,8 mg/L  |
|    |              |                 | n-butyl alcohol                     | 24,8 mg/L  |
|    |              |                 | Catechin                            | 0,204 mg/L |
|    |              |                 | Epicatechin                         | 0,271 mg/L |
|    |              |                 | isoamyl alcohol                     | 270 mg/L   |

## 2.5 Metode Pembentukan Lapisan ZnO-Ag

### 2.5.1 *Spray Coating*

*Spray coating* adalah metode pelapisan pada objek dengan menggunakan penyemprotan cairan. Objek yang dilapisi disebut sebagai substrat. Teknik ini bekerja dengan cara menyalurkan cairan melalui alat semprot sehingga menghasilkan aerosol halus. Gas bawaan dan muatan listrik dapat membantu mengarahkan aerosol pada permukaan yang dilapisi [26].

Beberapa metode *spray coating* yang umum digunakan di antaranya adalah *suspension spraying* dan *solution thermal spraying*. Metode ini memanfaatkan energi termal untuk memanaskan material yang kemudian dihamburkan oleh energi kinetik menuju permukaan yang telah dipersiapkan. Tumbukan dari partikel yang dihamburkan menghasilkan tumpukan lapisan

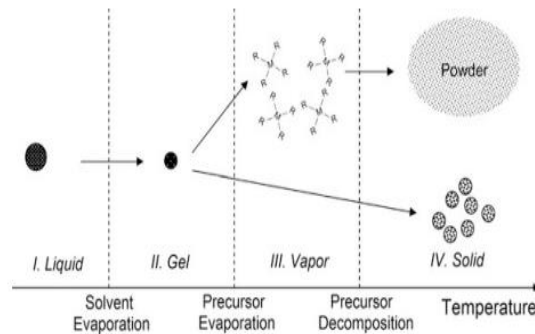
yang disebut sebagai *spray coating* [28]. Pertumbuhan lapisan tipis dari aerosol terjadi akibat adanya nukleasi dengan adsorpsi dari setiap tetesan yang dihasilkan. Tetesan tersebut dapat menyatu menjadi lapisan cair tipis. Metode deposisi dengan aerosol seperti *spray coating* dapat menghasilkan deposisi permukaan internal mikrostruktur [29].



**Gambar 2.2** Skema *Spray Coating* [27]

*Spray pyrolysis* adalah proses dimana aerosol mengalami penguapan dan pirolisis ketika tahap *transport* dan pertumbuhan lapisan dari proses deposisi aerosol. Pada proses ini partikel aerosol dapat mengalami siklus termal saat menuju substrat dan dipengaruhi oleh sifat kimiawi dari prekursor dan suhu dari substrat. Aerosol prekursor yang mulanya berbentuk tetesan cair dapat mengalami penguapan dan pengurangan volume ketika mendekati suhu penguapan pelarut. Hal ini menyebabkan zat padat yang terlarut di dalam tetesan mengalami presipitasi. Molekul dari prekursor dapat mengalami pirolisis menghasilkan bubuk apabila suhu melampaui temperatur dekomposisi dari prekursor. Untuk prekursor yang memiliki suhu

dekomposisi yang lebih rendah dari suhu vaporisasinya maka akan dihasilkan partikel padatan yang lebih besar [29].

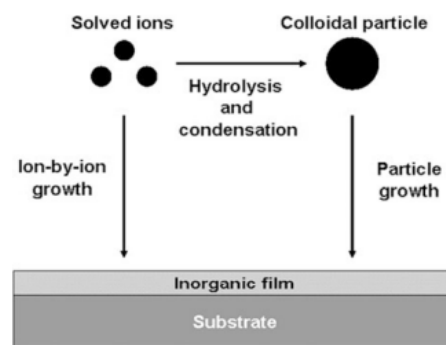


**Gambar 2.3** Siklus Termal *Spray Pyrolysis* [29]

### 2.5.2 *Chemical Bath Deposition*

*Chemical bath deposition* merupakan teknik yang dapat menghasilkan lapisan senyawa pada inorganik dan non-metalik. Pada metode ini, lapisan dihasilkan pada substrat dengan cara merendam substrat pada larutan prekursor baik sekali ataupun berkali-kali. Metode ini digunakan untuk preparasi senyawa semikonduktor dari larutan *aqueous* dan umumnya dilakukan dengan suhu di bawah 100 °C [29]. Metode ini dapat menghasilkan endapan yang baik pada substrat melalui pengendapan dari larutan. Metode ini dapat digunakan untuk mengatur faktor pertumbuhan seperti ketebalan film, laju deposisi, dan kualitas kristalinit dengan memvariasikan pH larutan, suhu larutan, dan konsentrasi rendaman. Beberapa keunggulan dari metode ini adalah tidak memerlukan peralatan tegangan tinggi, dapat bekerja pada suhu kamar, dan biaya operasi yang relatif murah. Metode ini hanya memerlukan larutan *aqueous* yang berisi bahan kimia dan substrat sebagai

tempat terbentuknya lapisan [30]. Metode ini juga dapat dikombinasikan dengan mekanisme untuk pengadukan larutan dan rendaman yang telah ditermostat untuk menjaga suhu tertentu dan konstan. Peningkatan suhu perendaman dapat meningkatkan laju difusi dan mobilitas ionik sehingga meningkatkan konduktivitas rendaman [31].



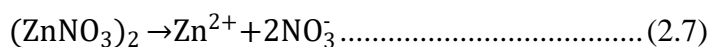
**Gambar 2.4** Mekanisme Pembentukan Lapisan Inorganik dari Larutan Inorganik *Aqueous* [29]

Pembentukan lapisan pada permukaan substrat dapat dipengaruhi oleh komponen larutan dan sifat dari permukaan substrat yang digunakan. Mekanisme pembentukan lapisan dapat terjadi berupa menempelnya spesies ionik yang terlarut pada substrat berdasarkan mekanisme pertumbuhan ion dengan ion, maupun dapat terjadi akibat adanya pembentukan partikel koloid di dalam larutan karena hidrolisis dan reaksi kondensasi dari spesies yang terlarut kemudian tertarik ke substrat oleh interaksi elektrostatik atau van der Waals [29]. Proses CBD dapat menghasilkan deposit berdasarkan dua jenis nukleasi yang terjadi pada larutan prekursor yaitu nukleasi heterogen dan homogen. Nukleasi heterogen terjadi pada permukaan substrat dan partikel

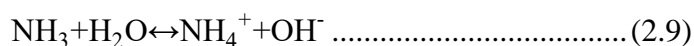
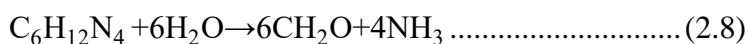
dapat tumbuh membentuk lapisan, sementara nukleasi homogen terjadi dimana dihasilkan pembentukan partikel berukuran besar di dalam larutan. Nukleasi homogen dapat mengganggu proses nukleasi heterogen dan berdampak pada lapisan yang terbentuk pada permukaan substrat. Hal ini dapat dihindari dengan menggunakan substrat yang memiliki lapisan *seeding* [30].

## 2.6 Reaksi Pembentukan ZnO-Ag

Larutan prekursor yang digunakan untuk sintesis sensor ZnO-Ag terbuat dari seng nitrat tetrahidrat ( $Zn(NO_3)_2$ ), perak nitrat ( $AgNO_3$ ), dan *hexametylenetetramine* atau HMTA ( $C_6H_{12}N_4$ ) yang kemudian dilarutkan ke dalam air.  $Zn(NO_3)_2$  digunakan sebagai sumber atom seng,  $AgNO_3$  digunakan sebagai sumber atom perak, dan HMTA digunakan sebagai katalis, sebagai *buffer* tingkat pH pada larutan serta membantu membentuk struktur nano ZnO yang dihasilkan. Ketika dilarutkan dalam air,  $Zn(NO_3)_2$  mengalami reduksi menghasilkan ion  $Zn^{2+}$  dan  $NO_3^-$ . Reaksi ini dapat dituliskan pada persamaan 4.1 sebagai berikut [32].

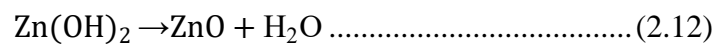
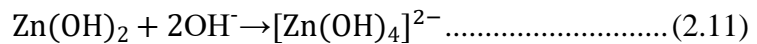
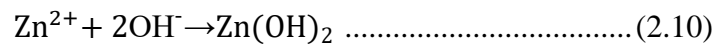


HMTA juga dapat mengalami reduksi sehingga menghasilkan ion ammonium dan ion hidroksida. Reaksi tersebut dapat diamati pada persamaan 4.2 dan 4.3 [32].





Pada kondisi larutan dengan tingkat pH yang tinggi, ion seng dan ion hidroksida kemudian dapat bereaksi menghasilkan seng oksida. Reaksi ini dapat diamati pada persamaan 4.4 hingga 4.6 [32].



Perak nitrat juga mengalami reduksi ketika berada di air dan menghasilkan ion perak ( $\text{Ag}^+$ ). Pada proses *doping* Ag, ion perak ini akan mengisi kekosongan pada struktur kristal yang umumnya terisi oleh atom seng.  $\text{Ag}^+$  juga bertindak sebagai katalis dalam reduksi  $\text{OH}^-$  dan lebih mudah bereaksi dibandingkan dengan  $\text{Zn}^+$  sehingga dapat lebih mudah untuk terbentuk ke dalam struktur kristal ZnO. Sehingga konsentrasi  $\text{Ag}^+$  umumnya digunakan dalam jumlah yang sedikit [33].

## 2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning electron microscope* merupakan mikroskop yang berfungsi untuk menghasilkan gambar pada spesimen yang diuji dengan memanfaatkan sinar elektron yang difokuskan. *Scanning electron microscope* dapat digunakan untuk melihat objek dengan pembesaran yang lebih tinggi dibandingkan mikroskop cahaya yang terbatas oleh sifat cahaya. SEM dapat digunakan untuk melihat objek pada skala sub-seluler, molekuler, maupun atomik. SEM bekerja dengan cara memancarkan berkas sinar elektron diarahkan menuju spesimen dengan adanya potensial listrik positif. Sinar ini difokuskan menggunakan lensa hingga menjadi sinar monokromatik tipis. Elektron pada sinar kemudian berinteraksi dengan atom

pada spesimen sehingga menghasilkan sinyal berisi informasi berupa sifat topografi, komposisi dan sifat kelistrikan dari spesimen. Hasil dari interaksi atom dan elektron tersebut kemudian dideteksi dan diubah menjadi gambar. Aplikasi SEM dapat digunakan untuk mengetahui topografi, morfologi, komposisi dan informasi kristalografik. [34].

## 2.8 *X-Ray Diffraction (XRD)*

*X-Ray Diffraction* adalah teknik yang digunakan untuk mengkarakterisasi material kristal dan bersifat tidak merusak. XRD digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis material seperti cairan, logam, mineral, polimer, katalis, sel solar dan semikonduktor. XRD dapat memberikan informasi mengenai struktur, fasa, orientasi kristal, dan parameter struktur lainnya seperti ukuran butir, kristalinitas, *strain*, dan cacat kristal. XRD dapat mendeteksi adanya cacat pada kristal, tekstur, ukuran, dan tingkat kristalinitas serta variabel lain yang berhubungan dengan struktur dasar sampel.

XRD bekerja dengan memanfaatkan interferensi konstruktif yang dihasilkan dari sinar-X dan sampel kristal. Sinar-X dihasilkan dari tabung sinar katoda yang dapat menghasilkan radiasi monokromatik yang terkonsentrasi dan diarahkan menuju kisi kristal dari sampel sehingga mengalami difraksi. Interaksi antara sinar insiden pada sampel menghasilkan interferensi ketika kondisi yang dihasilkan memenuhi hukum Bragg yang dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$n\lambda=2d\sin\theta \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana  $n$  adalah bilangan bulat,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar x,  $d$  adalah jarak interplanar yang menghasilkan difraksi dan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Hukum ini menghubungkan panjang gelombang dari radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak kisi pada sampel kristal. Sinar-X yang terdifraksi kemudian dideteksi, diproses dan dihitung. Teknik ini digunakan dalam aplikasi pada berbagai industri di antaranya yaitu mikroelektronik, pembangkit energi, luar angkasa, dan industri lainnya [35].

## **2.9 Vector Network Analyzer (VNA)**

*Vector Network Analyzer* (VNA) adalah instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur nilai *S-parameter* dan nilai-nilai lainnya dari komponen pasif maupun aktif. VNA bekerja dengan cara mengukur daya dari sinyal berkecepatan tinggi yang bergerak melalui suatu komponen. VNA dapat menampilkan besaran dan fasa dari *S-parameter* dalam berbagai format berbeda sesuai dengan aplikasi yang diinginkan oleh penggunanya. Pengukuran VNA dapat dilakukan menggunakan satu *port* atau lebih, pada frekuensi atau daya *swept* tertentu, dan dengan beragam konfigurasi *receiver* tergantung pada jenis pengukuran yang dibutuhkan [36].

VNA dapat digunakan untuk proses karakterisasi jaringan (*network*) dengan satu, dua, atau *multi-port*. Pada jaringan dua *port*, terdapat empat S-parameter yaitu  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ , dan  $S_{22}$  yang diperlukan untuk dapat mengkarakterisasi suatu jaringan.  $S_{11}$  dan  $S_{22}$  adalah koefisien refleksi *input* dan *output* pada masing-masing *port* 1 dan *port* 2. Sedangkan  $S_{21}$  dan  $S_{12}$  adalah koefisien transmisi maju dan terbalik.