

BAB II

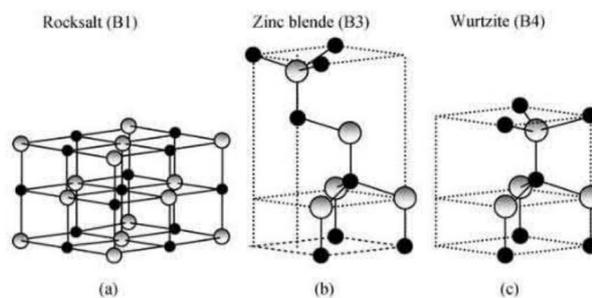
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seng Oksida (*Zinc Oxide*, ZnO)

Seng oksida (ZnO) merupakan suatu bahan material semikonduktor jenis logam tipe-*n* terdapat pada golongan II B – IV A. Material ZnO ini memiliki nilai energi celah pita sebesar 3,37eV dan besar nilai eksitasi energi ikat sebesar 60 MeV. Energi celah pita yang lebar akan menghasilkan kinerja efisien yang rendah. Hal ini disebabkan karena energi yang lebar akan membutuhkan energi yang besar untuk mengantarkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi untuk menghasilkan arus [3]. Seng oksida memiliki mobilitas elektron yang tinggi yaitu sebesar 200-300cm² V⁻¹s⁻¹ [4]. Bahan ini digunakan sebagai bahan dasar lapisan tipis, karena memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasinya, terutama dalam bidang sensor, sel surya, serta *nanodevice* [5]. Akan tetapi, ZnO mempunyai kelemahan, yaitu dapat mengalami penurunan konduktivitas listrik yang disebabkan terjadinya proses resapan kimia (*chemisorption*) gas oksigen pada permukaan film tipis ZnO. Seng oksida juga kurang stabil pada lingkungan korosif dan memiliki sifat listrik yang kurang baik dikarenakan konsentrasi pembawa yang rendah.

Seng oksida merupakan zat padat berupa serbuk berwarna putih pada temperatur rendah dan berwarna kuning pada temperatur tinggi [6]. Seng oksida dapat memiliki sifat semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n* bergantung pada stoikiometri dan akan sangat mempengaruhi jumlah serta jenis pembawa muatan yang berarti

akan mempengaruhi pula sifat listrik dari ZnO itu sendiri [7]. Semikonduktor tipe-*p* adalah semikonduktor yang memiliki jumlah lubang yang lebih banyak daripada jumlah elektron bebas, sedangkan semikonduktor tipe-*n* adalah semikonduktor yang memiliki jumlah elektron bebas yang lebih banyak daripada jumlah lubang. Elektron bebas ini berasal dari atom-atom pengotor yang memiliki lebih dari empat elektron valensi. Pada struktur kristal ZnO, dapat diketahui bahwa secara efisien akan memancarkan elektron pada saat suhu ruangan dan efisien dengan rentang panjang gelombang ultraviolet. Seng oksida memiliki karakterisasi morfologi yang sangat bervariasi, dimana karakterisasi morfologi dari ZnO ini akan mempengaruhi karakteristik dari material yang telah difabrikasi dan pengaplikasiannya [8]. Seng oksida memiliki beragam tipe struktur kristal yang beragam di antaranya yaitu *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt*. Tipe struktur kristal seng oksida tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.

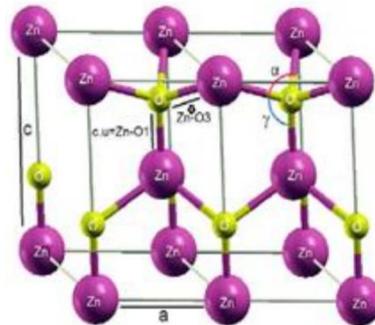


Gambar 2.1 Struktur Kristal ZnO: (a) *rocksalt*, (b) *zincblende*, dan (c) *wurtzite*

[9]

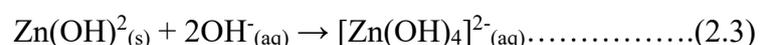
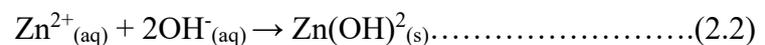
Struktur ZnO *zinc blende* terbentuk pada substrat kubik, dan struktur *rocksalt* terbentuk pada kondisi dengan tekanan tinggi [9]. Pada temperatur ruang dan keadaan termodinamika yang stabil, ZnO memiliki struktur dalam bentuk *wurtzite* [4]. Struktur *wurtzite* mempunyai sel satuan heksagonal dengan dua

parameter kisi, a dan c mempunyai grup ruang C4 atau P63mc [10]. Struktur *wurtzite* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Kristal *Wurtzite* [10].

Seng oksida dapat ditemukan di alam dalam bentuk mineral sebagai *zincite*. Selain itu, seng oksida juga dapat ditemukan dalam bentuk nitrat ketika sudah menjadi barang jadi. Seng nitrat terbentuk karena terjadinya proses pelapukan dan dekomposisi barang jadi dalam alam seperti pada perairan maupun pada tanah [11]. Pembuatan seng oksida dari seng nitrat dipilih juga karena memiliki kelebihan lainnya. Seng nitrat ($Zn(NO_3)_2$) dapat memproduksi material nano kristal yang lebih tinggi daripada ikatan seng lainnya [12]. Reaksi pembentukan seng nitrat menjadi seng oksida dapat dituliskan dengan Persamaan 2.1 sampai Persamaan 2.4 [13].



2.2 Deposisi ZnO

Deposisi merupakan suatu proses penerapan lapisan tipis atau partikel nanoskala pada substrat atau permukaan lainnya. Terdapat berbagai macam metode

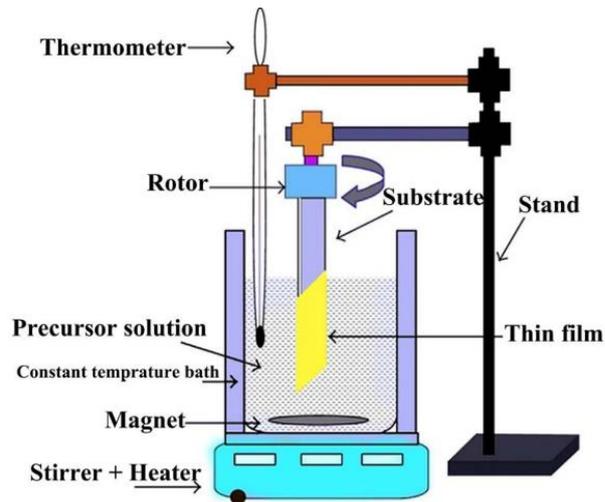
deposisi ZnO antara lain *sol-gel*, *sputtering*, *ultrasonic spray*, *spray coating*, dan *spin coating*. Pada dasarnya, struktur dan topografi suatu lapisan bahan bergantung pada perlakuan saat deposisi, seperti suhu pada saat deposisi, sumber dan energi atom-atom pengotor, topografi substrat dan tekanan aliran gas yang dipakai saat deposisi film [9]. Parameter-parameter tersebut juga mempengaruhi mobilitas permukaan atom-atom teradsorpsi.

2.2.1 *Chemical Bath Deposition (CBD)*

Sintesis merupakan suatu metode untuk pembuatan material nanopartikel. Nanopartikel dapat berasal dari molekul yang ukurannya lebih besar yang disintesis dengan metode *bottom-up* [14]. Untuk menghasilkan nanomaterial dengan hasil yang berkualitas tinggi dengan biaya yang rendah telah menjadi tantangan tersendiri. Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti menggunakan metode fisika, kimia, dan biologi. Umumnya, metode fisika dan kimia dianggap yang terbaik untuk mendapatkan hasil nanopartikel dengan ukuran seragam dan stabilitas jangka panjang. Namun, umumnya metode tersebut melepaskan bahan beracun atau berbahaya ke lingkungan sehingga diperlukan proses dan penanganan khusus [15]. Akan tetapi hal tersebut tidak mengurangi daya tarik sintesis menggunakan metode tersebut, terutama metode kimia.

Pada umumnya, metode yang digunakan dalam fabrikasi nanostruktur ZnO terbagi menjadi dua yaitu, *wet chemical* dan *phase gas*. Metode *wet chemical* lebih banyak digunakan untuk memfabrikasi nanopartikel ZnO dibandingkan dengan metode *phase gas* karena biayanya lebih terjangkau. Salah satu metode *wet chemical* yang banyak digunakan

dalam fabrikasi nanorods ZnO adalah *chemical bath deposition* (CBD). Metode CBD ini banyak digunakan karena dapat dioperasikan pada temperatur rendah, sehingga berbiaya rendah, dan metode pengerjaannya yang sederhana [16]. Skema peralatan CBD dapat dilihat pada Gambar 2.3.

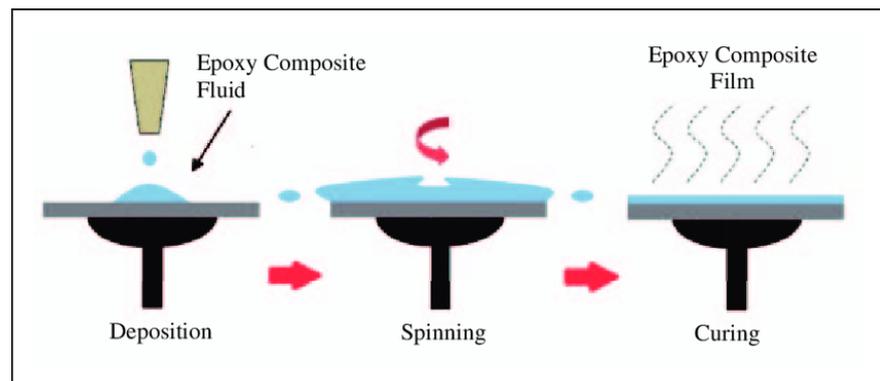


Gambar 2.3 Skema Alat untuk Metode CBD [17].

Pengendalian proses CBD dilakukan pada temperatur kamar dan tekanan udara normal [18]. CBD menghasilkan kualitas film yang tahan lama, homogen, dan kaku dengan kemampuan reproduksi yang baik serta menggunakan prosedur yang relatif mudah [18]. Dalam metode CBD, untuk mendapatkan struktur nano yang diinginkan dapat dilakukan melalui pengendalian kinetik seperti pengaturan konsentrasi prekursor, pengontrolan pH, waktu perendaman, dan temperatur yang digunakan. Metode CBD tidak memerlukan bahan kimia yang sangat mahal yang diproses hingga tingkat kemurnian tertentu, menjadikannya proses yang lebih terjangkau. Deposisi CBD bervariasi pada komposisi material yang digunakan [18].

2.2.2 Spin Coating

Spin coating merupakan teknik yang saat ini banyak digunakan untuk membuat film tipis yang seragam dengan ketebalan dalam orde mikrometer hingga nanometer [19]. *Spin coating* digunakan untuk menyiapkan lapisan tipis karena cepat, berbiaya rendah, dan menghasilkan lapisan tipis yang seragam dan besar [20]. Lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode ini memiliki tingkat kehomogenan yang cukup tinggi. Ketebalan lapisan yang diinginkan bisa dikontrol berdasarkan waktu dan kecepatan putaran dari alat *spin coater* [9]. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel, yang kemudian ditetaskan diatas suatu substrat dan disimpan diatas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi. Karena adanya gaya sentripetal ketika piringan tersebut berputar maka bahan tersebut akan tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata. Sketsa putaran metode *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

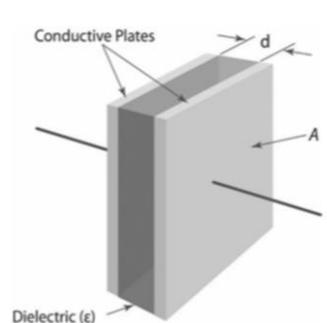


Gambar 2.4 Proses *Spin Coating* [20].

2.3 Sensor Impedansi

Perkembangan teknologi khususnya pada bidang industri dan makanan telah banyak memanfaatkan penggunaan elektroda sensor [21]. Sensor merupakan komponen elektronika yang memiliki kemampuan yang cukup handal dalam pengaplikasiannya [22]. Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu [23]. Penerapan sensor banyak digunakan pada berbagai macam teknologi. Umumnya sensor digunakan untuk mendeteksi suatu fenomena yang terjadi secara spontan. Sensor merupakan jenis transduser yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik [24].

Secara umum telah diketahui, sensor kapasitif adalah perangkat monitoring non-kontak yang mampu melakukan pengukuran resolusi tinggi [25]. Terdapat dua metode pengukuran dalam sensor kapasitansi, yaitu pengukuran perubahan amplitudo dan pengukuran perubahan fasa sinyal [25]. Metode kapasitif memanfaatkan rangkaian sensor kapasitif yang dihubungkan dengan osiloskop untuk mengetahui tegangan masukan dan tegangan keluaran dan selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi [26]. Struktur fisik pada kapasitor sejajar dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur Fisik Kapasitor Sejajar [27].

Sensor kapasitif yang paling sederhana memiliki dua pelat konduktor yang di antara dua pelat tersebut terdapat bahan bersifat isolasi atau dikenal bahan dielektrik. Nilai kapasitansi bergantung pada bahan dielektrik yang ditempatkan di antara pelat yang menjadi parameter yang diukur. Semakin besar nilai permitivitas bahan dielektrik antara pelat, maka semakin besar nilai kapasitansinya. Selain itu, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh luas area permukaan pelat dan jarak antar kedua pelat [25]. Jika kedua pelat dengan luas penampang dan berjarak antar pelat, kemudian diberi tegangan listrik, maka muatan yang dapat disimpan dalam kapasitor sebanding dengan tegangan listrik yang diberikan dan luas penampang pelat, tetapi berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat tersebut. Kapasitor pelat sejajar yang masing-masing memiliki luas dan dipisahkan oleh jarak dengan menempatkan bahan dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik di antara kedua pelat sejajar maka nilai kapasitansi kapasitor dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.5 [26].

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

dimana ϵ_0 adalah konstanta permitivitas vakum yang bernilai $8,85 \times 10^{-12}$ F/m.

Impedansi listrik merupakan salah satu besaran kelistrikan yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik biolistrik pada bahan biologis. Karakteristik biolistrik ini dapat dikorelasikan pada kondisi jaringan, sifat-sifat fisika-kimia jaringan, dan dianalisis kandungan apa saja yang terdapat pada jaringan, sehingga sifat biolistrik tersebut dapat digunakan untuk menilai kemurnian dan kualitas suatu bahan ataupun kerusakan pada jaringan [28]. Metode impedansi telah dikembangkan pada berbagai penelitian untuk menentukan kondisi bahan pangan, kadar gula darah dalam tubuh, distribusi volume air dalam tubuh,

serta dikembangkan untuk impedansi tomografi. Penggunaan nilai impedansi listrik diharapkan dapat menjadi teknik baru yang lebih mudah dan non-invasif untuk menentukan kondisi bahan pangan yang meliputi bahan pangan dalam keadaan segar, busuk, maupun tercampur bahan kimia.

Impedansi terbagi menjadi beberapa jenis, namun yang paling umum digunakan adalah tiga jenis yaitu impedansi kapasitif, impedansi induktif, dan impedansi resistif. Impedansi kapasitif terjadi ketika terdapat reaktansi kapasitif dengan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan reaktansi induktifnya. Kondisi ini juga dapat terjadi pada bagian imajiner dari sebuah kapasitor ketika mengalami perubahan arus. Persamaan untuk mengetahui nilai impedansi kapasitif dapat dilihat pada Persamaan 2.6 [29].

$$Z_c = -j \frac{1}{\omega C} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana $\omega = 2\pi f$ yaitu frekuensi angular, dan nilai kapasitansinya dilambangkan dengan C . Selanjutnya terdapat impedansi induksi yang terjadi akibat reaktansi induktif memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan reaktansi kapasitifnya. Impedansi induktif terjadi ketika sebuah kumparan dengan nilai hambat yang mengalami perubahan arus dibandingkan kondisi imajineranya. Persamaan impedansi induktif dapat ditulis dengan Persamaan 2.7 [29].

$$Z_l = \omega L \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana $\omega = 2\pi f$ yang merupakan frekuensi angular, dan L adalah nilai induktansinya. Kemudian terdapat impedansi resistif yang terjadi ketika nilai reaktansi dalam rangkaian arus searah berada pada titik nol. Hal tersebut akan dapat menyebabkan terjadinya impedansi resistif. Resistansi tidak akan menghasilkan pergeseran fasa karena tidak memiliki nilai imajiner sehingga tegangan dan arus

akan memiliki fasa yang sama. Persamaan impedansi resistif dapat ditulis dengan Persamaan 2.8 [29].

$$Z_r = R \dots \dots \dots (2.8)$$

Penambahan material semikonduktor dengan logam transisi merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan konduktivitas sensor tersebut. Logam perak (Ag) merupakan bahan *adding* yang cocok untuk ZnO dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitik [30]. Proses fotokatalis terjadi apabila material semikonduktor yang memiliki energi celah pita tertentu diberikan energi dari luar yang sesuai seperti energi cahaya, maka akan terjadi transformasi kimia sehingga mengubah senyawa anorganik dan senyawa organik yang menempel di material tersebut menjadi air dan karbon dioksida [31]. Oleh karena itu, penambahan Ag pada semikonduktor ZnO merupakan salah satu pengembangan yang banyak dilakukan.

Sensor kapasitif merupakan jenis sensor yang mengonversi stimulus fisik menjadi perubahan dalam besaran elektrik yaitu kapasitansi. Sensor kapasitif digunakan dalam berbagai aplikasi pengukuran, baik energi mekanik maupun kimia. Metode pada sensor kapasitif memanfaatkan berbagai rangkaian sensor kapasitif yang dihubungkan dengan osiloskop untuk mengetahui tegangan masukan dan tegangan keluaran yang selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi. Sensor kapasitif berbasis ZnO merupakan salah satu jenis sensor kapasitif yang banyak dikembangkan karena keunikan yang dimiliki oleh ZnO. Pendeteksian pada sensor kapasitif dilakukan berdasarkan terjadinya perubahan muatan energi listrik yang tersimpan dalam kapasitor yang disebabkan oleh

perubahan jarak lempeng, perubahan luas penampang, perubahan volume dielektrik sensor kapasitif, dan pengaruh eksternal yang mempengaruhi perubahan perilaku kapasitif pada sensor.

Sensor kapasitif berbasis ZnO merupakan salah satu jenis sensor yang banyak dikembangkan saat ini. Salah satu kegunaan sensor kapasitif ZnO ialah digunakan untuk mendeteksi kelembaban [32]. Sensor kelembapan kapasitif berbasis nanokomposit seng oksida dengan tungsten disulfida dan ZnO nanorods juga telah dikembangkan dan diuji pembuatannya. Selain itu, ZnO juga digunakan dalam sensor untuk *photoelectrochemical water splitting*, sensor gas, transduser piezoelektrik, dan sensor lainnya [33]. Seng oksida juga digunakan dalam pembuatan film tipis konduktor transparan untuk aplikasi seperti layar datar komputer laptop, sel surya, dan lain-lain. Penelitian juga telah dilakukan pada penggunaan ZnO dalam sensor gelombang akustik permukaan (*surface acoustic wave*). Penelitian lain menunjukkan bahwa sensor gas ZnO tipis yang dihasilkan dengan sputtering reaktif memiliki respons yang cepat dan sensitivitas yang tinggi terhadap gas.

2.4 Sensor untuk Mendeteksi Daging

Daging yang umumnya dikonsumsi oleh manusia adalah daging ayam, ikan, sapi, dan babi. Daging dapat didefinisikan sebagai semua jaringan hewan dan semua produk hasil pengolahan jaringan-jaringan tersebut yang bisa dimakan serta tidak mengganggu kesehatan bagi yang mengkonsumsinya [34]. Terjadi beberapa perubahan setelah ternak disembelih yang mengakibatkan otot mengalami perubahan dari energi mekanis untuk pergerakan semasa ternak hidup menjadi

energi kimiawi untuk dikonsumsi manusia sebagai pangan hewani [35]. Berbagai macam jenis daging tersebut membuat manusia harus mengetahui apa saja perbedaan dari segi warna, bau, dan juga teksturnya. Umumnya daging unggas memiliki karakteristik bentuk yang sama namun berbeda pada serat dan rasa. Daging unggas secara visual lebih mudah dibedakan daripada daging merah. Daging merah atau daging yang berasal dari hewan ternak berkaki empat cenderung memiliki visualisasi yang sama. Sebagai pembandingan, ditunjukkan pada Tabel 2.1 mengenai komposisi akhir dari daging ayam, babi, dan sapi.

Tabel 2. 1 Komposisi Daging Ayam, Babi, dan Sapi [34], [35], [36].

Jenis Daging	Komposisi (%)			
	Air	Protein	Lemak	Abu
Ayam	75,24	22,92	1,15	1,145
Babi	72	20	6,8	1
Sapi	70	20	9	1

Berdasarkan data pada Tabel 2.1, diketahui bahwa nilai komposisi antara daging babi dan sapi tidak terlalu berbeda. Nilai komposisi keduanya terpaut selisih paling tinggi sebesar 3% pada komposisi lemak. Hal tersebut membuat konsumen harus lebih jeli terhadap pemilihan daging yang akan dikonsumsi. Oleh karena itu diperlukan pembuatan suatu alat yang dapat mendeteksi daging secara cepat dan praktis yang terbentuk sebagai sebuah sensor.

Sensor untuk mendeteksi daging sudah banyak dikembangkan dengan berbagai macam variasi. Sensor pendeteksi daging yang umum digunakan adalah berupa sensor warna dan juga sensor pembau. Sensor pendeteksi warna daging yang

paling umum digunakan merupakan sensor TCS 3200 dan sensor pendeteksi bau berupa sensor TGS2602. Sensor warna akan digunakan untuk mendeteksi perubahan nilai RGB dari warna daging, sedangkan sensor bau berperan sebagai pendeteksi bau yang dikeluarkan oleh daging dan didapatkan data nilai tegangan [37].

Penggunaan sensor kapasitif untuk mendeteksi jenis daging sudah cukup banyak dikembangkan di dunia. Selain sensor kapasitif ZnO-Ag, terdapat jenis material lain yang dilakukan pengembangannya untuk mendeteksi jenis daging. Dalam penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, disampaikan bahwa kualitas daging ayam segar dan daging ayam tiren memiliki nilai kapasitansi yang berbeda. Daging ayam segar memiliki nilai rata-rata kapasitansi yang lebih rendah dibandingkan daging ayam tiren [29].

2.5 Karakterisasi Material

Komposisi dari suatu material tidak selalu sama antara satu dengan lainnya. Penentuan komposisi atau morfologi dari suatu material umumnya dilakukan dengan suatu pengujian yang disebut sebagai karakterisasi. Karakterisasi material merupakan proses pengujian untuk mengetahui komposisi suatu material uji [26]. Material nanopartikel yang telah disintesis dapat dikarakterisasi dengan beberapa cara, antara lain dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM), *x-ray diffractometer* (XRD), *fourier transform infra-red* (FTIR), dan *vector network analyze* (VNA).

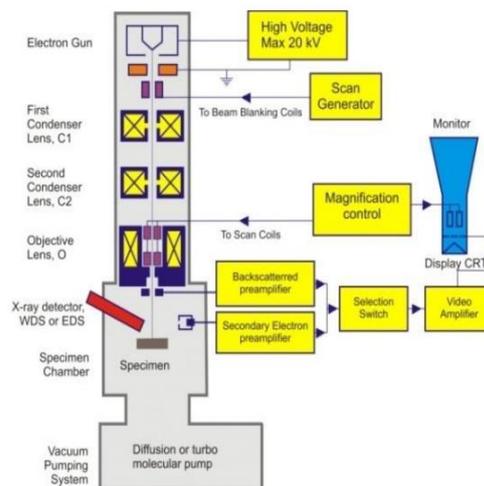
2.5.1 *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS)

Scanning electron microscopy merupakan salah satu jenis alat karakterisasi yang umum digunakan untuk material nanopartikel. SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung, yang memiliki perbesaran 10–3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm [38]. SEM sangat baik untuk karakterisasi ukuran dan bentuk nanopartikel, karena persiapan sampel yang diperlukan dan akuisisi gambar relatif cepat dan sederhana [39]. Meskipun gambar SEM adalah representasi dua dimensi (2D) dari objek tiga dimensi (3D) dari sudut pandang tertentu sudut pandang tertentu, gambar SEM memang mengandung sejumlah informasi 3D yang dengan pengukuran berbasis model dapat digunakan untuk merekonstruksi bentuk dengan akurasi sub-nm dari struktur sederhana. [38]

SEM digunakan untuk mengamati batas butir, distribusi, batas fase, serta bukti adanya deformasi mekanik dan komposisi kimia yang memiliki perbesaran 200.000 kali untuk mengamati ketebalan dari 200 Å sampai 0,5 µm [40]. SEM dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, bias dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras, fokus dan astigmatismus yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda. Prinsip kerja dari SEM yaitu ketika berkas elektron di *scan* pada permukaan sampel maka akan terjadi interaksi elektron dengan atom-atom pada permukaan sampel. Karena adanya interaksi tersebut, sebagian berkas

elektron keluar kembali. Elektron-elektron tersebut disebut sebagai *backscattered electrons* (BSE). Selain itu terdapat juga sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian elektron tersebut pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan. Pembentukan elektron sekunder juga diikuti oleh munculnya X-ray sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen bahan yang akan diteliti [41].

SEM dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan teknik penggunaannya. Salah satu aksesoris SEM yang cukup umum digunakan adalah *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS), yang merupakan sebuah teknik untuk menganalisis sampel secara kualitatif atau semikualitatif untuk menentukan komposisi elemen yang ingin diidentifikasi. Setelah elektron pemindai mengenai permukaan sampel, elektron di dalam atom akan mengalami eksitasi. Ketika elektron-elektron pada atom kemudian kembali pada keadaan dasarnya, sinar X akan teremis. Sinar X tersebut dikumpulkan oleh detektor sinar X dan dikonversi menjadi sebuah data.



Gambar 2. 6 Skema Analisis SEM [42].

2.5.2 *X-Ray Diffractometer (XRD)*

X-ray diffraction (XRD) atau difraksi sinar-X merupakan salah satu teknik karakterisasi dan analisis non-destruktif yang sampai saat ini masih sering digunakan. *X-ray diffraction (XRD)* digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis struktur kristal, fasa, dan mineral yang terkandung dalam sampel serbuk maupun padat. Prinsip kerja *x-ray diffraction (XRD)* adalah penerapan prinsip hukum Bragg yang menyebutkan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus kelipatan panjang gelombang seperti yang dituliskan pada Persamaan 2.9 [43].

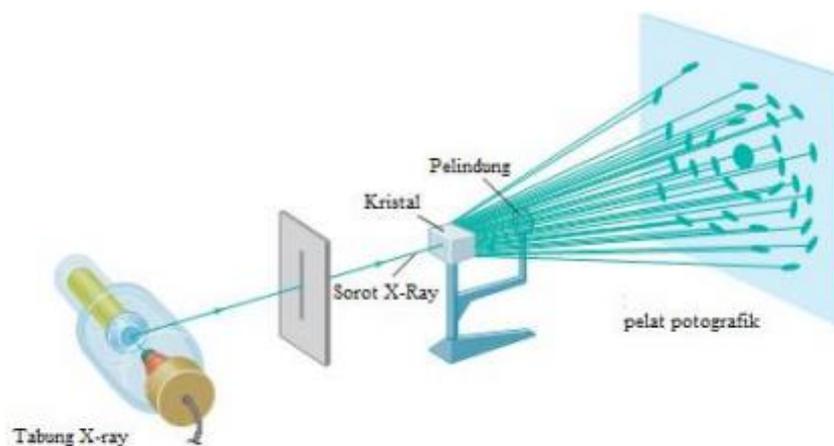
$$n\lambda = 2d \sin\theta \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana n adalah bilangan bulat orde pembiasan (1,2,...), kemudian λ panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, dan θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal.

Alat *x-ray diffraction (XRD)* terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-X, tempat objek, dan detektor sinar-X. Sinar-X berasal dari tabung sinar-X yang di dalamnya terdapat katoda berupa filamen yang dipanaskan sehingga dapat menghasilkan elektron. Ketika gelombang mengalami pembiasan atau pembelokan saat melewati suatu gangguan, seperti kisi kristal, maka akan terjadi difraksi yang mengakibatkan gelombang terhambur kemudian menghasilkan penguatan atau pelemahan sinyal yang akan direkam dan diproses dalam bentuk grafik. Standar yang digunakan dalam melakukan uji XRD adalah ASTM E1426 dengan prosedur kerja yaitu sampel diletakkan pada *sample holder* kemudian

dipadatkan dan diratakan, *sample holder* diposisikan pada pegangan dan mulai diiradisi oleh sinar-X dengan sumber radiasi Cu pada rentang sudut 2θ $10-90^\circ$ hingga terbentuk pola difraksi berupa difraktogram, serta dari data tersebut dihasilkan informasi dengan membandingkan nilai d sampel pada data standar mineral. Karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD) dilakukan untuk menentukan kristalinitas serta orientasi pertumbuhan kristal yang ditunjukkan oleh perbandingan intensitas puncak difraksi bidang tersebut terhadap bidang lainnya secara kualitatif [44].

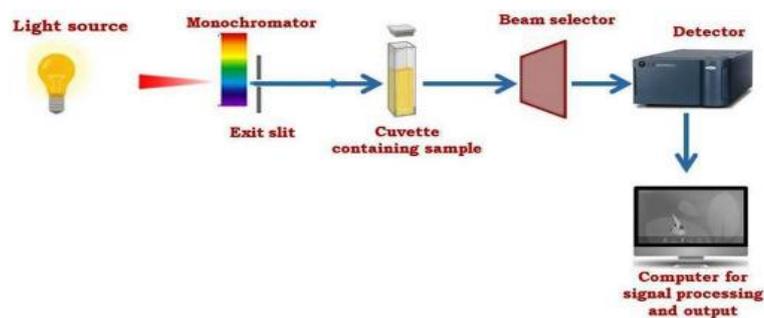
Difraktometer sinar-X adalah alat yang digunakan untuk menentukan fasa kristalin dalam sampel atau material dengan memanfaatkan parameter struktur kisi untuk mengukur ukuran partikel. Alat ini mampu mengidentifikasi baik material yang berbentuk kristal maupun yang tidak (non-kristal). Difraktometer sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal secara kualitatif dan mengukur kandungan fasa secara kuantitatif dengan menggunakan sinar-X sebagai radiasi gelombang elektromagnetik. Dapat dilihat pada Gambar 2.8 adalah skematik difraktometer sinar-X [45].



Gambar 2. 7 Skema XRD [45].

2.5.3 Spektrofotometri UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis merupakan suatu metode analisis dengan menggunakan spektrofotometer yang didasarkan pada rentang gelombang ultraviolet hingga cahaya tampak. Spektrofotometer UV Vis bekerja pada rentang frekuensi ultraviolet (201-400 nm) dan cahaya tampak (401-800 nm). Spektroskopi UV-Vis merupakan suatu pengujian yang hemat biaya, sederhana, serbaguna, tidak merusak, dan analitis. Spektroskopi UV-Vis baik digunakan untuk spektrum besar senyawa organik dan beberapa spesies anorganik lainnya. Sebagai fungsi panjang gelombang, spektrofotometer UV-Vis mengukur penyerapan atau transmisi cahaya yang melewati suatu media [46]. Teknik spektrofotometer UV-Vis dapat diterapkan pada berbagai disiplin ilmu penelitian, seperti pertanian, makanan, farmasi, lingkungan, dan lainnya. Prinsip dari spektrofotometer UV-Vis adalah suatu penyerapan sinar tampak untuk ultraviolet dengan suatu molekul yang dapat mengakibatkan terjadinya eksitasi molekul dari tingkat energi yang rendah hingga tingkat energi yang tinggi [47].



Gambar 2. 8 Skema Pengukuran UV-Vis [47].

Spektrofotometer UV-Vis dapat menghasilkan berbagai jenis data penting untuk penemuan dan analisis material. Spektrofotometer Uv-Vis

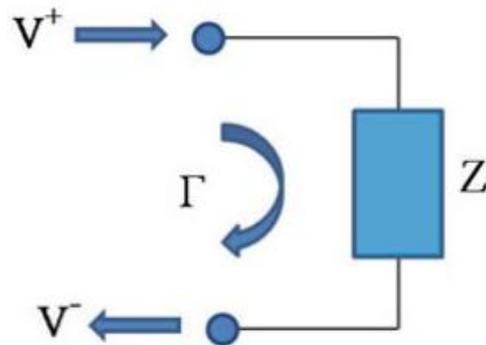
dapat memberikan informasi tentang sifat optik seperti maksimum penyerapan UV-Vis (λ_{max}) dan koefisien-koefisien absorpsi molar (ϵ) [1]. Selain itu, spektrofotometer UV-Vis dapat mengukur besar serapan dan persen transmisi sampel pada panjang gelombang berbeda, melakukan pemindaian spektrum untuk menganalisis serapan sebagai fungsi panjang gelombang [48]. Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk mendeteksi sampel padatan, cairan, dan gas.

2.5.4 *Vector Network Analyzer (VNA)*

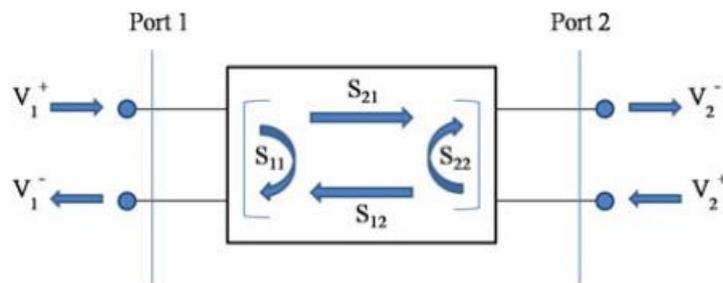
Vector network analyzer (VNA) adalah instrumen yang kompleks dan serba guna yang digunakan dalam bidang teknik frekuensi radio (RF) untuk pengukuran yang akurat dan tepat [49]. Untuk pengukuran parameter kapasitor dan induktor dalam rentang frekuensi luas biasanya digunakan penganalisis impedansi. VNA dapat digunakan untuk mengkarakterisasi komponen pasif seperti pandu gelombang, filter, dan perangkat semikonduktor aktif seperti dioda, transistor, serta rangkaian seperti osilator dan *amplifier* [50]. VNA dapat digunakan untuk mengetahui sifat dari suatu material dan juga nilai parameter hamburan (*scattering parameter*), yaitu reflektansi dan transmitansi.

VNA dapat digunakan untuk mengkarakterisasi satu, dua, atau *multi-port* jaringan. VNA dapat mengukur fase insiden dan pantulan. Pada VNA dengan satu jaringan, rasio antara insiden gelombang tegangan V^+ yang merambat dari VNA ke spesimen uji, kemudian tegangan dipantulkan gelombang V^- dari spesimen uji ke VNA disebut koefisien refleksi Γ [49].

Kemudian dalam jaringan dua *port*, terdapat transmisi maju dan transmisi balik selain pantulan. Kuantitas ini dapat dinyatakan dalam bentuk parameter hamburan (parameter-S).



Gambar 2. 9 *One-port Network* [49].



Gambar 2. 10 *Two-port Network* [49].

S-parameter didefinisikan sebagai rasio jumlah gelombang yang dipantulkan dan yang datang. Dalam kasus jaringan dua *port*, empat parameter-S S_{11} , S_{21} , S_{12} , dan S_{22} diperlukan untuk mengkarakterisasi jaringan secara lengkap. S_{11} dan S_{22} adalah koefisien refleksi input dan output pada *port 1* dan *port 2*. Sedangkan S_{21} dan S_{12} masing-masing mewakili koefisien transmisi maju dan mundur Untuk S_{11} dan S_{22} merupakan masukan dan keluaran koefisien refleksi dari masing-masing *port 1* dan *port 2*. Sementara S_{21} mewakili koefisien transmisi maju dan

S_{12} mewakili koefisien transmisi terbalik. S -parameter dapat dituliskan dalam bentuk matriks berikut [49]:

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana V_1^- dan V_2^- merupakan gelombang pasang, sedangkan V_1^+ dan V_2^+ merupakan insiden di *port 1* dan *port 2*. Bentuk lebih umum S -parameter ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_{mn} = \frac{V_m^-}{V_n^+}; V_{m \neq n}^+ \dots\dots\dots(2.11)$$