

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Nanoteknologi

Di tahun 1980-an, Eric Drexler, sebagaimana dilansir *Center for Responsible Nanotechnology*, mempopulerkan makna nanoteknologi sebagai suatu proses pembuatan mesin dalam skala molekul yang ukurannya jauh lebih kecil dari sel (Jones, 2008). Dalam waktu yang bersamaan teknologi dunia juga sedang mengembangkan kemampuan untuk membangun struktur sederhana dalam skala molekul. Hingga akhirnya nanoteknologi menjadi sebuah konsep yang diterima sebagai teknologi sederhana dalam skala nanometer termasuk sesuatu yang lebih kecil dari 100 nanometer dengan sifat baru (Wilson *et al.*, 2002).

Nanoteknologi secara sederhana diartikan sebagai teknologi pada skala nano, dimana mencakup rentang antara 1 hingga 100 nm. Nanoteknologi memiliki kemampuan untuk bekerja pada tingkat molekul maupun atom untuk menciptakan struktur molekul dasar yang baru. Skala nano tersebut menyebabkan munculnya struktur baru yang memiliki sifat fisika, kimia dan biologi dengan karakteristik yang berbeda dibandingkan ukuran yang lebih besar (Ramsden, 2011). Teknologi ini memanipulasi materi untuk digunakan

pada aplikasi tertentu melalui proses fisika maupun kimia sehingga diperoleh material dengan karakteristik tertentu. Pada kenyataannya, teknologi ini memberikan peluang untuk menciptakan material dan produk baru yang lebih baik (Morris dan Willis, 2007). Adapun nanoteknologi dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti bidang elektronika untuk pembuatan transistor sebuah prosesor komputer, bidang militer untuk penginderaan di malam hari dan penerbangan tanpa awak, bidang industri mobil untuk pelapisan pada *body* mobil dan pendingin mesin serta bidang industri konveksi untuk pelapisan kain (Dwandaru, 2012).

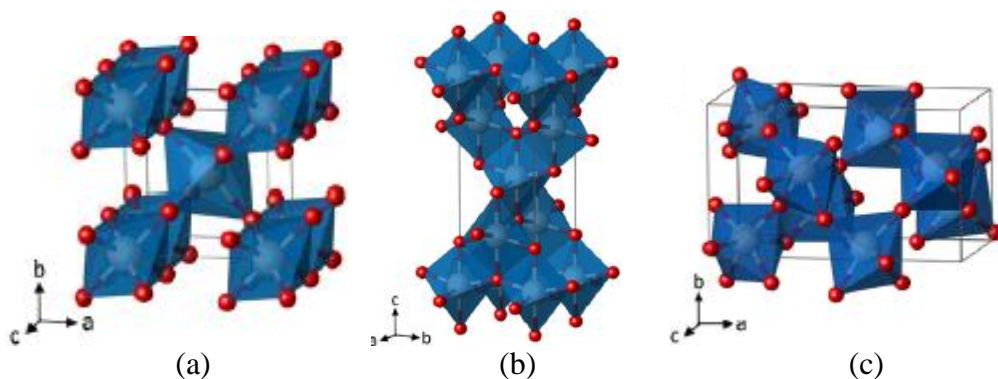
Cakupan nanoteknologi dalam perkembangan penelitian sangat luas meliputi nanokimia, nanofisika, nanobionik, nanoelektronik, nanometrologi dan nanomaterial. Dalam hal ini, nanomaterial menjadi salah satu yang gencar dikembangkan. Secara prinsip ilmiah, material nano memiliki sifat-sifat antara lain lebih kuat, ringan, menghantarkan listrik, bersifat magnetik, isolasi termal yang baik, berpori dan tahan terhadap korosi (Anggraita, 2006). Nanomaterial memiliki beberapa jenis antara lain nanologam, nanokeramik, nonopolimer dan nanokomposit (Bonazzi, 2011).

Pada kenyataannya, penggunaan nanomaterial terus dikembangkan dengan penerapan metode-metode sederhana dan ekonomis. Beberapa keuntungan dari pengembangan teknologi material yaitu material dapat didesain ataupun dikontrol sesuai kebutuhan, tidak terjadi pemborosan material yang tidak diperlukan, optimalisasi pemanfaatan material dan sifat-sifat material dapat ditingkatkan secara maksimal (Wangasadinata dan Suprayitno, 2008).

B. Titania dan Nanotitania

Titanium dioksida atau titania (TiO_2) merupakan material semikonduktor yang termasuk ke dalam oksida logam dengan lebar celah pita energi sekitar 3,0 eV atau 3,2 eV (Ohno *et al.*, 2004). TiO_2 bersifat inert, non toksik, murah dan memiliki karakteristik optik yang baik (Gratzel, 2003). TiO_2 banyak diaplikasikan dalam berbagai industri seperti fotoelektroda (Sieferting dan Griffin, 1990), sensor gas (Varghese dan Grimes, 2003), pelapisan (Honda *et al.*, 1994) dan paling menguntungkan jika dimanfaatkan sebagai fotokatalis (Herrera dan Pulgarin, 2010).

TiO_2 terdiri atas tiga struktur kristal yaitu anatase, rutile dan brookite (Nolan *et al.*, 2009). Anatase dan rutile memiliki struktur yang sama yaitu tetragonal, sedangkan brookite berstruktur ortorombik. Rutile memiliki struktur yang stabil. Tidak demikian halnya dengan anatase dan brookite yang strukturnya cenderung tidak stabil. Anatase dan brookite strukturnya akan berubah menjadi rutile ketika dipanaskan (Stengl dan Kralova, 2011). Ketiga struktur kristal TiO_2 ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur kristal TiO_2 (a) rutile (b) anatase dan (c) brookite (Landmann *et al.*, 2012).

Secara singkat karakteristik ketiga struktur kristal TiO₂ diterangkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik struktur kristal TiO₂

Karakteristik	Rutile	Anatase	Brookite
Bentuk Kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthorombic
Massa Jenis (g/cm ³)	4,27	3,90	4,13
Indeks Bias	2,72	2,52	2,63
Sela Terlarang (eV)	3,05	3,26	-
Konstanta Kisi c/a (nm)	0,644	2,51	0,944
Titik leleh (°C)	1825	Transformasi ke Rutile	Transformasi ke Rutile

Berdasarkan Tabel 2.1 diketahui terjadi transformasi fasa anatase dan brookite ke fasa rutile. Penelitian Han *et al.* (2008) dan Periyat *et al.* (2008) menyebutkan adanya transformasi fasa anatase ke fasa rutile pada suhu ~600 °C. Sementara itu, pada suhu ~800 °C terjadi transformasi fasa brookite ke fasa rutile (Huberty dan Xu, 2008). Proses pemanasan pada suhu tinggi ini menyebabkan peningkatan ukuran partikel (Koparde dan Cummings, 2008).

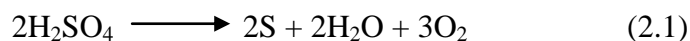
Dalam aplikasinya pada fotokatalis, umumnya TiO₂ fasa anatase yang digunakan karena memiliki kemampuan fotokatalitik yang tinggi dibandingkan fasa rutile dan brookite (Wahi *et al.*, 2005; Yanagisawa dan Ovenstone, 1999). Sementara itu, kemampuan fotokatalitik ini juga meningkat seiring dengan meningkatnya kinerja sistem yang dipengaruhi oleh modifikasi morfologi dan kimia. Modifikasi morfologi terjadi melalui peningkatan struktur nanokristal, luas permukaan dan porositas. Sedangkan modifikasi kimia terjadi melalui penambahan komponen di dalam struktur TiO₂ (Pelaez *et al.*, 2012).

C. Doping Sulfur

Material semikonduktor merupakan material yang memiliki konduktivitas lebih tinggi daripada isolator dan lebih rendah daripada logam (Smith, 1996). Konduktivitas semikonduktor dapat dikontrol oleh suhu dimana sebagian besar dapat muncul sebagai insulator pada suhu yang cukup rendah dan logam pada suhu yang cukup tinggi (Rockett, 2008; Kittel, 2005). Selain suhu, adanya pengotor atau *doping* juga berperan dalam mengontrol konduktivitas semikonduktor (Rockett, 2008). Bahan yang digunakan sebagai pengotor atau *doping* disebut dopan. Ada banyak material yang digunakan sebagai dopan, baik logam maupun non-logam seperti karbon (Cheng *et al.*, 2007; Zaleska, 2008), nitrogen (Morikawa *et al.*, 2001; Darzi *et al.*, 2012; Zaleska, 2008), fluor, iodin, klorin, fosfor, boron (Zaleska, 2008) dan sulfur (Zaleska, 2008; Nishikiori *et al.*, 2013; Umebayashi *et al.*, 2003). Sulfur menjadi salah satu material yang dikembangkan karena efektif untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis.

Sulfur merupakan unsur kimia yang tergolong logam. Pada tabel periodik, unsur sulfur dinyatakan dengan simbol S dengan nomor atom 16. Pada dasarnya penambahan atau *doping* S ke dalam TiO₂ jauh lebih sulit dibandingkan dengan nitrogen (N). Hal ini dikarenakan S memiliki jari-jari ionik yang lebih besar. Namun, Periyat *et al.* (2008) berhasil mengembangkan *doping* S pada TiO₂ melalui modifikasi titanium isopropoksida dan asam sulfat. Bentuk *titanil oksisulfat* diperoleh berdasarkan pengondisian suhu yang terus ditingkatkan (≥ 800 °C) pada fasa anatase. Penambahan S

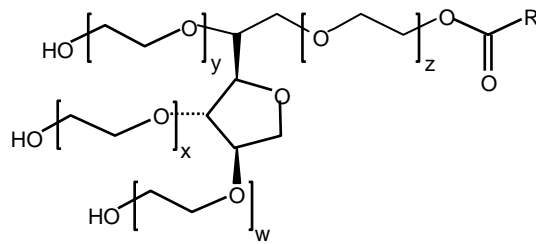
menyebabkan terjadinya peningkatan aktivitas fotokatalitik dari material yang disintesis. Adapun reaksi untuk memperoleh sulfur dapat ditunjukkan dengan reaksi berikut.



D. Tween-80

Surfaktan merupakan suatu molekul *amphiphatic* dan *amphipilic* yang mengandung gugus hidrofilik dan lipofilik dalam satu molekul yang sama. Secara umum, surfaktan berguna untuk menurunkan tegangan permukaan, tegangan antarmuka, meningkatkan kestabilan partikel dan mengontrol larutan emulsi. Terdapat empat jenis surfaktan antara lain anionik surfaktan, non-ionik surfaktan, kationik surfaktan dan amfoterik atau zwiterionik surfaktan. Di antara keempat jenis tersebut surfaktan anionik merupakan jenis yang umum digunakan seperti tween-80 (Salager, 2002).

Tween-80 dengan rumus kimia $\text{C}_{64}\text{H}_{124}\text{O}_{26}$ merupakan ester polietilen asam lemak dari sorbitol yang memiliki berat molekul 1310 dalton atau 1310 g/mol. Komposisi tween-80 terdiri atas 20 etilen oksida, 1 sorbitol dan 1 asam oleat sebagai asam lemak utama. Tween-80 larut di dalam air sehingga menghasilkan larutan kekuningan. Selain itu, tween-80 juga larut dengan alkohol, minyak kelapa, minyak jagung, etil asetat, metanol dan toluena, tetapi tidak larut dalam minyak mineral dan minyak sayur (Rowe *et al.*, 2009). Setiap 1% larutan memiliki rentang pH antara 5,5 sampai dengan 7,2. Adapun skema molekul tween-80 dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.2.

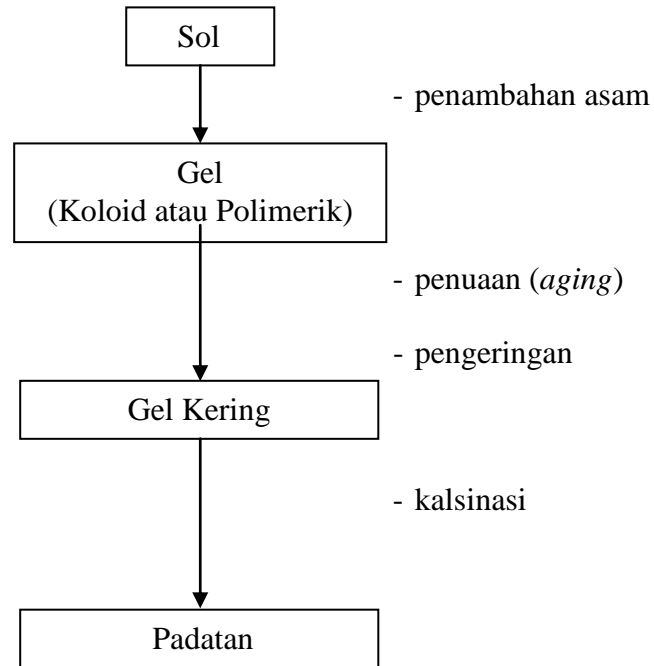


Gambar 2.2. Tween-80 dengan $w + x + y + z = 20$ (Rowe *et al.*, 2009)

Tween-80 telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti biokimia, pengemulsi (Smolinske, 1992) dan pendispersi zat dalam produk obat dan makanan. Berdasarkan *material safety data sheet* (MSDS) atau data keamanan bahan diperlukan pengontrolan terhadap komposisi material ketika digunakan.

E. Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang digunakan dalam proses sintesis nanopartikel dan nanokomposit (Wilson *et al.*, 2002; Branda, 2011). Dalam prosesnya, perlakuan dengan metode sol-gel mengalami perubahan fasa dari sol menjadi gel. Sol merupakan partikel padatan koloid yang tersebar di dalam larutan (Hench dan West, 1989; Wilson *et al.*, 2002). Sementara itu, gel merupakan bahan yang terbentuk karena pertumbuhan polimer yang terkondensasi atau partikel koloid yang dikenai gaya sehingga terbentuk kumpulan partikel yang lebih besar (Brinker dan Scherer, 1990). Sebuah gel saling berhubungan membentuk jaringan kaku dengan pori-pori dan rantai polimer yang memiliki panjang rata-rata lebih dari skala mikrometer. Tahapan proses sol-gel dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3.

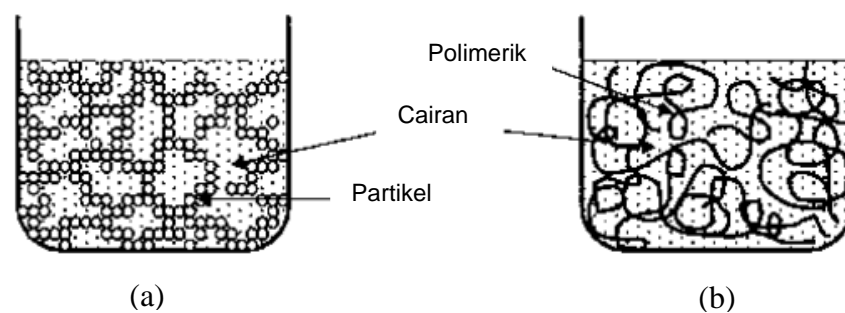


Gambar 2.3. Tahapan proses sol-gel (Rahaman, 1995)

Tahap pertama dalam proses sol-gel adalah pencampuran. Sol terbentuk melalui pencampuran partikel koloid dalam larutan. Dalam hal ini prekursor alkoksida bercampur dengan air atau dikenal sebagai hidrolisis. Tahap kedua, partikel koloid berinteraksi dengan prekursor dan membentuk jaringan tiga dimensi berupa gel melalui penambahan asam. Gel menunjukkan viskositas yang tinggi. Tahap ketiga yaitu penuaan gel atau disebut juga *aging*. Proses penuan gel memerlukan waktu beberapa jam atau hari agar gel semakin kuat. Selama proses penuaan akan terjadi penurunan porositas. Tahap keempat merupakan proses pengeringan. Pada proses pengeringan ini gel akan memutuskan jaringan yang mengikat antar pori-pori. Hal yang sama juga terjadi pada proses tahap terakhir yaitu pemadatan yang dilakukan melalui pengeringan pada suhu tinggi atau kalsinasi (Hench dan West, 1989). Melalui proses sol gel, maka dapat diproduksi material bubuk kristal berukuran nano

dengan kemurnian tinggi dan kehomogen pada suhu rendah (Akpan dan Hameed, 2010).

Dalam proses sol gel terdapat dua jenis gel yaitu gel koloid dan polimerik. Gel koloid terdiri atas jaringan tulang dari partikel anhidrat yang memiliki struktur padat dengan komposisi yang sama. Sementara gel polimerik terdiri atas jaringan tulang yang terbentuk dari belitan dan silangan pertumbuhan rantai atau kelompok polimer melalui proses hidrolisis, kondensasi dan polimerisasi prekursor dalam larutan. Prekursor yang umumnya digunakan yaitu prekursor alkoksida logam yang juga berpengaruh terhadap struktur rantai polimer yang terbentuk. Gel polimerik memiliki pori-pori lebih kecil dibandingkan ukuran pori gel koloid yang mencapai 1 hingga 5 kali ukuran partikel. Hal tersebut berpengaruh terhadap penurunan suhu sintering yang digunakan pada gel polimerik. Selain itu, gel polimerik cenderung lebih homogen karena pencampuran kimia terjadi pada tingkat molekul daripada koloid. Gambar 2.4 merupakan skema struktur gel koloid dan polimerik yang terbentuk (Rahaman, 1995).



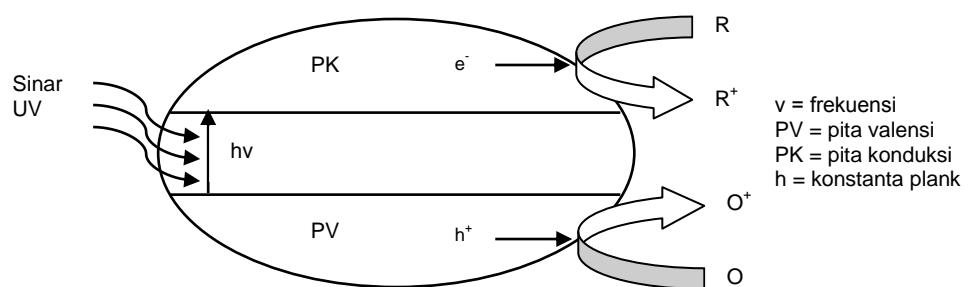
Gambar 2.4. Struktur (a) gel koloid yang terbentuk dari suspensi partikel halus dan (b) gel polimerik dari larutan (Rahaman, 1995).

F. Fotokatalis TiO₂

Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang memerlukan bantuan energi foton atau cahaya untuk membantu kerja katalis. Katalis adalah suatu zat yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya reaksi, tetapi tidak turut bereaksi menjadi produk. Katalis memiliki dua jenis yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen memiliki fasa yang sama dengan fasa pereaksi. Aktivitas katalis jenis ini sangat tinggi, tetapi karena memiliki fasa yang sama dengan fasa pereaksi menyebabkan katalis bercampur dengan hasil reaksi setelah proses berakhir. Sementara itu, katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda dengan fasa pereaksi. Umumnya, reaksi dengan menggunakan katalis heterogen dilakukan pada suhu tinggi. Beberapa contohnya yaitu zeolit, CaO, Al₂O₃, MgO dan TiO₂. Di antara kelima contoh tersebut TiO₂ yang paling banyak digunakan sebagai fotokatalis dalam pengolahan limbah organik seperti zat warna.

Titanium dioksida (TiO₂) dapat digunakan sebagai fotokatalis karena merupakan semikonduktor cenderung stabil terhadap sinar, mampu menyerap sinar UV dengan baik dan memiliki celah pita energi yang besar yaitu 3,2 eV untuk anatase dan 3,0 untuk rutil (Rockafellow *et al.*, 2009; Ohno *et al.*, 2004 dan Pelaez *et al.*, 2012) sehingga memungkinkan banyak terjadinya eksitasi elektron pada pita konduksi dan pembentukan lubang pada pita valensi ketika dikenai sinar UV. Ketika semikonduktor TiO₂ yang memiliki pita valensi penuh dan pita konduksi kosong disinari panjang gelombang tertentu yang memiliki energi radiasi lebih besar dibandingkan celah pita

energinya maka elektron (e^-) yang terdapat pada pita valensi akan tereksitasi menuju pita konduksi sehingga meninggalkan lubang (h^+) pada pita valensi. Kondisi ini memungkinkan terjadinya transformasi energi termal atau interaksi antara pasangan elektron dan lubang dengan zat kimia lain pada permukaan. Kemampuan ini yang dimanfaatkan untuk menyerap senyawa organik seperti zat warna yang berinteraksi terhadapnya (Diebold, 2003).



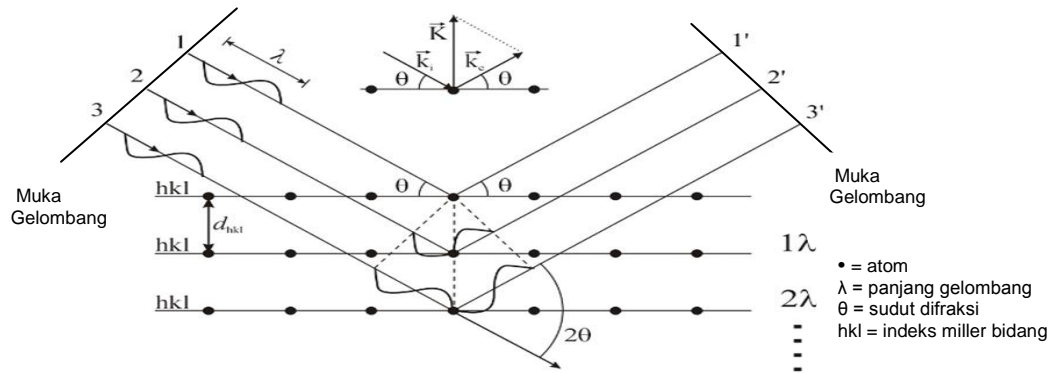
Gambar 2.5. Skema fotoeksitasi TiO_2 di bawah sinar UV (Zhao dan Yang, 2003)

Tingkat aktivitas TiO_2 sebagai fotokatalis tergantung pada karakteristik kristal, ukuran butir dan kehomogenan permukaannya (Matsuda *et al.*, 2006). Oleh karena itu, diperlukan modifikasi karakteristik kristal TiO_2 dengan penambahan material lain. Sulfur sebelumnya telah berhasil digabungkan dengan TiO_2 untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis (Periyat *et al.*, 2008; Rockafellow *et al.*, 2009 dan Umebayashi *et al.*, 2003). Sulfur memiliki kemampuan menyerap cahaya yang tinggi dan kandungannya di dalam H_2SO_4 hanya mengalami sedikit penguapan ketika preparasi berlangsung (Nishikiori *et al.*, 2013), tidak membentuk gugus hidroksil serta dapat bertindak sebagai perangkap lubang sehingga mengurangi oksidasi (Rockafellow *et al.*, 2009).

G. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan salah satu metode karakterisasi material yang menggunakan sinar-X sebagai sinar yang mengenai sampel yang akan diteliti. Sinar-X termasuk ke dalam radiasi elektromagnetik yang sama seperti cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek. Satuan panjang gelombang sinar-X adalah Å, sama dengan 10^{-8} cm. Sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai dengan 2,5 Å. Sementara itu, panjang gelombang cahaya tampak diketahui berada dalam orde 6000 Å. Sinar-X membawa energi dengan kecepatan tertentu melalui satu satuan luas yang tegak lurus terhadap arah gerak gelombang atau disebut sebagai intensitas. Sinar-X dihasilkan ketika elektron berkecepatan tinggi menabrak sebuah logam target (Cullity, 1956).

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang (λ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang (λ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan (d). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skema difraksi sinar-X (Cullity,1956)

Pada prinsipnya, XRD menggunakan sinar-X sebagai penghantar untuk menganalisis sampel. Analisis XRD terhadap sampel termasuk ke dalam analisis non-destruktif karena sinar-X tidak merusak bahan yang diteliti. Intensitas sinar-X yang terdifraksi dan mengenai permukaan sampel akan membentuk pola interferensi sebagai fungsi sudut difraksi yang memenuhi hukum Bragg. Pola interferensi ini yang dianalisis untuk mengetahui struktur kristal, komposisi kimia maupun sifat-sifat bahan (Glatzel, 2013) melalui metode pencocokan data. Adapun hukum Bragg ditunjukkan pada persamaan 1 (Cullity, 1956).

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

dengan d merupakan jarak antara bidang ekuivalen atom, θ sebagai sudut difraksi dan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Sinar-X yang terdifraksi akan saling berkelompok membentuk puncak-puncak dengan intensitas dan pada sudut tertentu.

Karakterisasi XRD merupakan teknik yang baik karena mampu melakukan analisis kimia berdasarkan pada kuantitas intensitas yang dibentuk oleh suatu

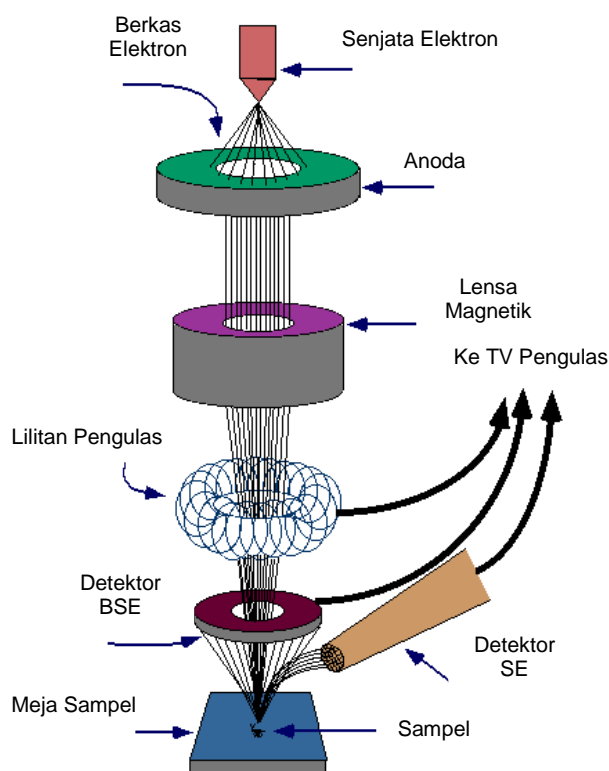
material. Metode ini sangat penting dalam analisis padatan kristal. Hal tersebut dikarenakan metode ini tidak hanya dapat menganalisis komponen struktur kristal yaitu parameter kisi dan jenis struktur saja, tetapi juga susunan berbagai jenis atom dalam kristal, ketaksempurnaan atau cacat kristal, ukuran butir maupun kepadatan endapan (Smallman dan Bishop, 1999).

H. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan salah satu alat serbaguna untuk menganalisis struktur, termasuk topografi permukaan dan komposisi dari bahan organik serta non-organik heterogen pada skala nanometer sampai mikrometer. Pada awal tahun 70-an, SEM ini dikembangkan dari sebuah alat sederhana dengan kegunaan terbatas yang memiliki resolusi sekitar 50 nm menjadi alat yang dilengkapi dengan sebuah komputer yang memiliki resolusi sekitar 1 sampai dengan 5 nm untuk berbagai kegunaan. Kini SEM banyak digunakan di bidang fisika, metalurgi, biologi, kimia dan perkembangan teknologi lainnya (Goldstein *et al.*, 2003).

SEM juga termasuk sebuah mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk membentuk sebuah gambar. SEM memiliki banyak keuntungan melebihi mikroskop biasa. SEM mempunyai bidang pengukuran yang lebar yang membuat sampel fokus pada satu waktu. Dengan resolusi SEM yang lebih tinggi tersebut sampel dapat diperbesar pada tingkatan yang lebih tinggi secara teliti (Schweitzer, 2013).

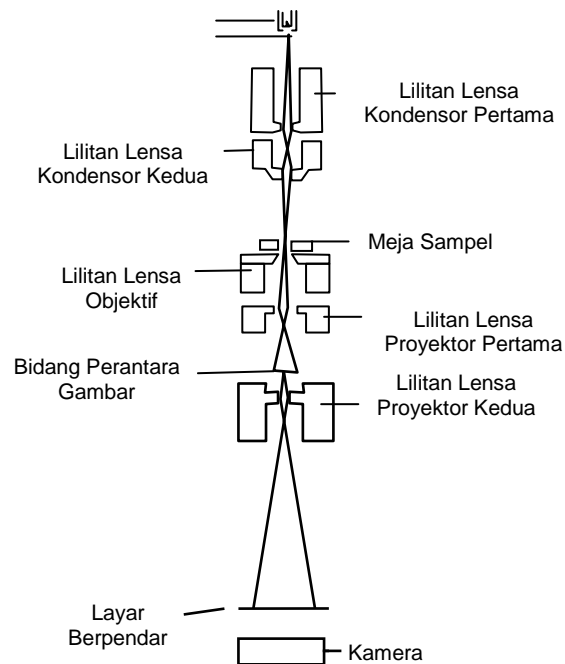
Proses karakterisasi SEM berawal dari pancaran elektron bersifat monokromatik yang dihasilkan dari senjata elektron. Pancaran elektron tersebut lalu diteruskan menuju anoda. Pada proses ini elektron mengalami penyearahan menuju titik fokus. Selain itu, anoda juga berfungsi untuk membatasi atau mengeliminasi pancaran elektron yang memiliki sudut hambur terlalu besar. Kemudian berkas elektron yang berhasil melewati anoda diteruskan menuju lensa magnetik dan dilanjutkan menuju koil pengulas sebelum akhirnya elektron menembak cuplikan atau sampel (Sampson, 1996). Skema peralatan SEM ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema kerja alat SEM (Schweitzer, 2013).

I. Transmission Electron Microscopy (TEM)

Mikroskop elektron merupakan alat yang pengoperasiannya memerlukan panjang gelombang yang lebih pendek. Oleh karena itu, pengoperasiannya terus dikembangkan hingga diharapkan mampu melakukan pengamatan struktur di bawah 1 nm. Mikroskop elektron terdiri atas pelucut elektron dan lensa yang terakit keseluruhan secara tertutup. Pada TEM, elektron dipercepat sampai beberapa ratus keV dengan panjang gelombang elektron hanya beberapa pm. Adapun resolusi TEM adalah sebesar 0,1 nm (Rosenauer, 2003). Sebuah sistem dasar TEM secara skematis ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Sistem dasar TEM (Smallman dan Bishop, 1999).

Susunan optik sistem mirip dengan lensa kaca proyeksi mikroskop cahaya. Lensa biasanya terbuat dari jenis magnet, yaitu kumparan pembawa arus yang

benar-benar dikelilingi oleh selubung besi lunak kecuali celah sempit di dalam lubang. Tidak seperti mikroskop cahaya yang memiliki jarak fokus tetap, jarak fokus mikroskop elektron dapat dikontrol dengan mengatur arus melalui kumparan lensa (Smallman dan Bishop, 1999).

Berdasarkan pada Gambar 2.8 diketahui bahwa TEM bekerja karena adanya elektron yang berenergi tinggi hingga 300 keV untuk mempercepat elektron. Elektron yang dipercepat pada daerah vakum berperilaku seperti cahaya dimana bergerak lurus dan memiliki sifat seperti gelombang dengan panjang gelombang 100.000 kali lebih pendek dari cahaya tampak (Beniac *et al.*, 2010). Ketika sebuah elektron melewati bagian sampel tipis suatu material, maka elektron tersebar. Sebuah sistem lensa elektromagnetik canggih kemudian memfokuskan elektron yang tersebar menjadi sebuah gambar atau pola difraksi maupun spektrum nanoanalitis yang tergantung pada sistem atau mode pengoperasiannya. Masing-masing mode memberikan penyajian yang berbeda-beda tentang sampel. Mode pencitraan memberikan gambar yang mampu memperbesar ukuran baik mikro maupun nano sehingga struktur atom langsung bisa diperoleh. Mode difraksi memberikan informasi akurat mengenai struktur kristal pada bagian tertentu. Mode nanoanalitik menunjukkan elemen-elemen yang terdapat pada sampel. Ketiga mode tersebut berguna untuk mencari material yang lebih kuat, keping berukuran mikro yang bekerja lebih cepat atau nanokristal yang lebih kecil berdasarkan pada informasi yang diberikan pada alat (Hofer, 2014).

TEM digunakan untuk mengkarakterisasi sifat-sifat material seperti menentukan ukuran kuantitatif, distribusi ukuran sampel dan morfologi partikel. Prinsip kerja TEM sama dengan mikroskop cahaya, tetapi menggunakan gelombang elektron sebagai sumber cahayanya.