

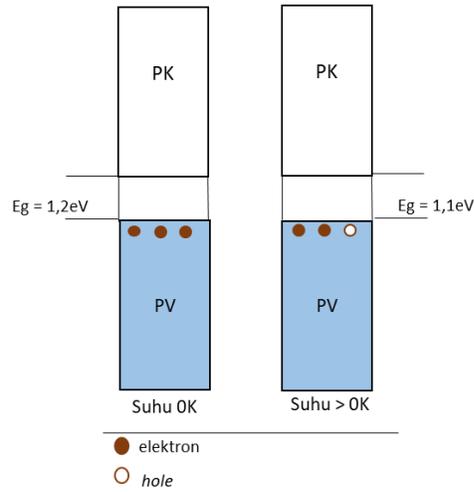
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

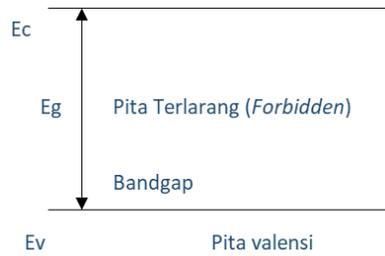
#### **2.1. Semikonduktor**

Semikonduktor merupakan material dengan kualifikasi atau tingkat konduktivitas listrik yang ada diantara bahan isolator dan konduktor [14]. Apabila dikaji berdasarkan pita energi, terdapat pita valensi yang dipenuhi dan muncul adanya celah energi besar diantara pita konduksi dan pita valensi, sehingga dapat menyebabkan tidak adanya elektron bebas yang diproduksi dikarenakan timbul peristiwa hilangnya kemampuan elektron valensi untuk dapat mencapai atau berpindah ke pita konduksi [15][16]. Sedangkan apabila temperatur dinaikkan atau diatas nol mutlak, maka mengakibatkan perubahan elektron menjadi elektron bebas sehingga membuat suatu semikonduktor memiliki elektron bebas. Hal ini disebabkan karena adanya getaran atom oleh energi termal yang secara bersamaan membuat beberapa elektron bergerak dari pita valensi ke pita konduksi sehingga meninggalkan hole pada bagian pita valensi. Pada satu elektron bebas akan tercipta pula satu hole begitupun seterusnya akan terbentuk pasangan hole-elektron akibat adanya energi termal atau energi panas. Elektron dan hole adalah partikel-partikel yang sangat berperan dalam produksi arus. Partikel elektron bebas memiliki muatan negatif dan partikel hole bermuatan positif. Pada saat medan listrik diterapkan atau diberikan, maka elektron yang berada pada pita konduksi dan hole akan menghasilkan arus listrik bersamaan dengan diperolehnya energi kinetik yang disebabkan karena pengaruh dari medan listrik tersebut. Dalam hal ini, konsentrasi elektron dan hole merupakan faktor terpenting pada karakterisasi unsur semikonduktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai arus secara langsung [15]. Adanya perlakuan kenaikan temperatur menunjukkan bahwa semakin temperatur meningkat maka celah energi pada pita energi akan mengecil, begitu pula sebaliknya pada saat temperatur 0 K [16]. Adapun ilustrasi gambar keadaan pita energi pada suhu

tertentu serta ilustrasi perpindahan elektron disajikan pada Gambar 2.1. dan Gambar 2.2.



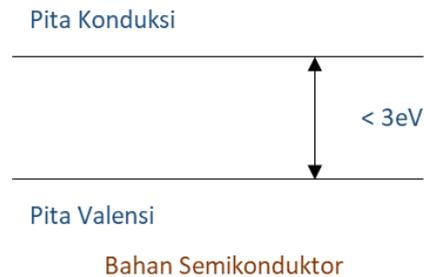
**Gambar 2. 1.** Keadaan Pita Energi Pada Suhu Tertentu.



**Gambar 2. 2.** Diagram Pita Energi.

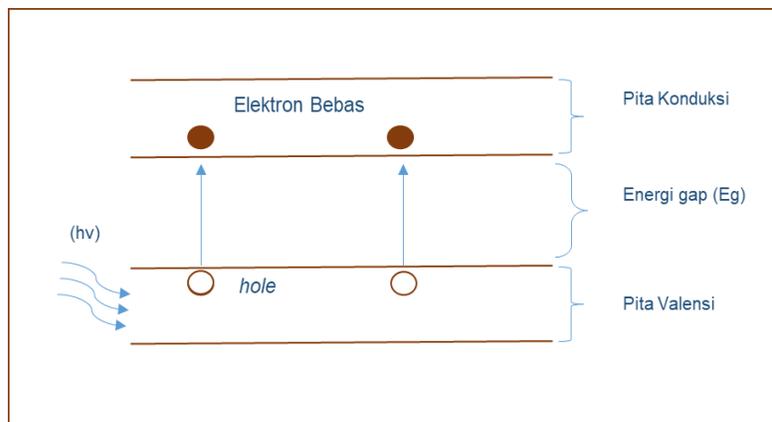
Berdasarkan diagram pita energi di atas, terdapat daerah diantara kedua energi  $E_c$  dan  $E_v$  yang disebut dengan *bandgap*. Berdasarkan muatan total yang netral dari unsur, jika elektron memiliki muatan negatif yang dapat memecah ikatan kovalennya dan keluar dari posisi awal, maka pada posisi ini akan terbentuk sebuah ruang yang kosong dengan muatan positif yaitu hole seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya [17].

Adapun diagram pita energi pada material semikonduktor disajikan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Diagram Pita Energi Bahan Semikonduktor.

Berdasarkan ilustrasi diagram di atas, material semikonduktor memiliki sifat penting yaitu mempunyai celah energi atau bandgap yang kurang dari  $3eV$ . Dalam hal ini, bandgap atau nilai celah energi tersebut dapat dikatakan bahwa skalanya lebih kecil dari *bandgap* material isolator. Berdasarkan sifat yang ada, maka muncul kemungkinan suatu elektron untuk dapat memasuki tingkatan energi lebih tinggi. Perpindahan atau pemasukan ke tingkatan yang lebih tinggi tersebut dipengaruhi oleh adanya faktor yaitu temperatur dan pemberian sinar. Hal tersebut dapat terjadi jika elektron pada pita valensi dapat menyerap energi yang sama maupun lebih besar dari nilai celah energi antara pita valensi dan pita konduksi [17]. Adapun perpindahan elektron disajikan pada Gambar 2.4.



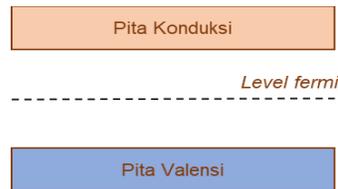
**Gambar 2.4.** Diagram perpindahan elektron.

Berdasarkan ilustrasi-ilustrasi gambar di atas, dapat dikatakan bahwa elektron dan *hole* yang menjadi pembawa muatan listrik dalam material semikonduktor, sehingga material semikonduktor juga mempunyai sifat listrik yang memiliki ikatan kovalen yang berpengaruh terhadap keadaan ikatan [17]. Material semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis antara lain semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik [15],[16]. Semikonduktor intrinsik merupakan golongan semikonduktor yang tidak terkontaminasi dengan atom-atom asing. Pada semikonduktor jenis ini, terdapat jumlah elektron bebas pada pita konduksi yang sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi. Berdasarkan jumlah yang sama tersebut, maka mengakibatkan adanya kehilangan elektron-hole dan secara bersamaan timbul gerakan termal yang terus-menerus menimbulkan pasangan elektron-*hole* baru. Dalam proses ini terjadilah penyatuan antara elektron dan hole yang menjadi netral dan selanjutnya akan menghilang karena menghamburkan energi [15]. Selain itu juga, semikonduktor jenis intrinsik ini memiliki energi fermi yang terletak pada bagian tengah *energy gap*, kemudian terdapat sekitar satu atom diantara  $1 \times 10^9$  atom yang menjadi donor atau memberi sumbangan terhadap hantaran listrik. Selanjutnya, jenis kedua semikonduktor yaitu semikonduktor ekstrinsik yang merupakan semikonduktor tidak murni akibat adanya pengotor yang dapat diproses dengan menambahkan (*doping*) atom-atom asing dalam pembuatannya. Hal ini bertujuan agar memperoleh valensi bebas dengan jumlah yang lebih banyak dan permanen. Hal tersebut digunakan untuk diharapkan dapat menghantarkan listrik [17]. Semikonduktor jenis ekstrinsik ini terbagi menjadi dua tipe yaitu tipe-p dan tipe-n [16].

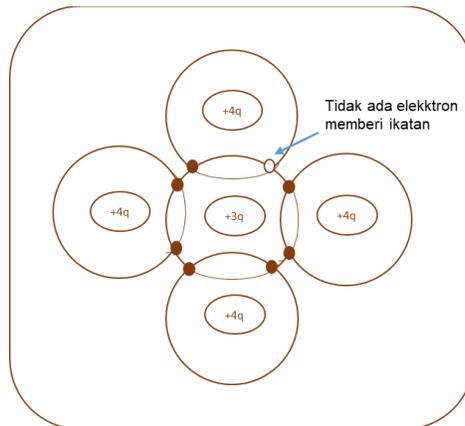
### **2.1.1. Semikonduktor Tipe-p**

Semikonduktor tipe-p merupakan semikonduktor yang mempunyai konsentrasi *hole* lebih besar jika dibandingkan dengan elektronnya. Pada proses pembuatannya, semikonduktor tipe ini diberikan perlakuan dengan cara penambahan atau didoping atom pengotor pada semikonduktor murni [18]. Secara umum, semikonduktor tipe-p ini dapat diperoleh dengan perlakuan tambahan sejumlah atom pengotor dari golongan IIIA pada semikonduktor murni. Pemberian pengotor tersebut berupa atom bervalensi 3 (*trivalent*) yang kemudian akan menghasilkan semikonduktor tipe-p. Hal tersebut

terjadi dikarenakan hanya memiliki 3 elektron valensi, sehingga dalam ikatan kovalen dengan 4 atom terdekatnya maka akan terdapat 7 elektron dalam orbit valensinya [16]. Dengan adanya peristiwa tersebut, muncul sebuah lubang (*hole*). Berdasarkan dari pengotoran tersebut, maka menghasilkan material yang dinamakan semikonduktor tipe-p [16],[18]. Hal ini dapat dikatakan karena terdapat produksi pembawa muatan positif pada kristal netral. Dalam prosesnya, atom pengotor sebagai penerima elektron sehingga atom pengotor ini disebut atom aseptor. Setelah adanya penambahan atom aseptor tersebut, terjadilah penambahan sedikit tingkat energi di atas pita valensi [16]. Adapun ilustrasi struktur pita energi pada semikonduktor tipe-p disajikan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



**Gambar 2.5.** Pita Energi Semikonduktor Tipe-P.



**Gambar 2.6.** Semikonduktor Tipe-P.

Pada ilustrasi gambar di atas menjelaskan bahwa suatu ketakmurnian *trivalen* (valensi tiga) yang ditambahkan pada semikonduktor intrinsik. Di dalam penelitian ini terdapat perlakuan dopingan oleh material logam yang elektron valensinya lebih rendah. Hal ini

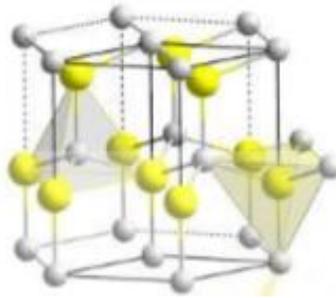
menyebabkan adanya kekosongan yang mana kekosongan terjadi pada ikatan sehingga akan terbentuk sebuah lubang atau *hole* [18]. Dari adanya ketidakmurnian ini, terdapat akseptor yang mudah menerima elektron dari pita valensi sehingga terbentuklah pembawa muatan positif karena adanya lubang atau hole yang dapat menerima elektron [16],[18]. Dari hasil pendopingan dengan atom-atom akseptor tersebut, maka semikonduktor dapatlah menjadi semikonduktor bertipe-p seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Dalam hal ini, tipe-p menggunakan simbol huruf 'p' yang menjelaskan tentang arti pembawa muatan positif jauh melebihi pembawa muatan negatif [18]. Pada semikonduktor tipe-p terbentuklah tingkat energi.

Dalam hal ini, terdapat energi yang dibutuhkan elektron untuk berpindah dari pita valensi yang kemudian akan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali. Berdasarkan perpindahan tersebut, hole-hole yang sudah terbentuk oleh elektron-elektron ini disebut sebagai pembawa mayoritas dalam pita valensi dan elektronnya disebut sebagai pembawa minoritas dalam pita valensi [18].

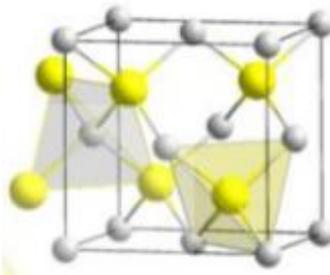
## **2.2. Zinc Oxide (ZnO)**

*Zinc Oxide* (ZnO) merupakan material semikonduktor dari senyawa anorganik yang termasuk dalam daftar pencarian karena banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan ataupun kegiatan misalnya sebagai semikonduktor, sebagai keperluan katalis atau pendukung katalis, dan lain sebagainya [19]. *Zinc Oxide* (ZnO) merupakan semikonduktor yang memiliki celah pita lebar dari kelompok semikonduktor II-VI dan celah pita energi 3,2 - 3,4 eV dan titik leleh sekitar 198 °C [7],[8],[19]. Karena itulah ZnO dapat mentoleransi medan listrik yang besar, operasi daya tinggi, dan temperatur yang tinggi. Dengan adanya sifat-sifat tersebut, maka ZnO akan sangat bermanfaat dalam aplikasi solar sel. Material ZnO banyak digunakan dalam penyerapan UV. Seperti untuk bahan baku sunscreen yang efektif dalam menyerap sinar UV, kemudian UV laser, perangkat light-emitting-diodes (LED), elektroda *photovoltaic*, sel surya, dan lain sebagainya. ZnO memiliki struktur intan dengan jaringan ikatan kovalen. Dengan

struktur tersebut, ZnO mempunyai ikatan kimia antara atom Zn dan atom O yang mengarah kepada ikatan ion. Hal ini disebabkan oleh adanya kuat sistem polarisasi antara atom Zn dan atom O. Pada ikatan Zn-O tersebut mampu membuat atom Zn menjadi positif dan atom O menjadi negatif yang selanjutnya akan terbentuk molekul yang netral. Secara umumnya, kristal ZnO mempunyai 3 bentuk yaitu *wurtzite* yang merupakan struktur paling stabil dan paling banyak dijumpai, kemudian bentuk kedua yaitu *zincblende* dari ZnO yang terbentuk pada waktu pertumbuhan kristal yang mencapai kestabilan pada saat membentuk struktur kubus, dan yang terakhir adalah bentuk roksalt yang hanya dapat ditemukan pada tekanan 10 Gpa [20]. Adapun ilustrasi gambar struktur Kristal ZnO disajikan pada Gambar 2.7. dan Gambar 2.8.



**Gambar 2.7.** Struktur wurtzite ZnO [20].



**Gambar 2.8.** Struktur zinc blende ZnO [20].

ZnO merupakan material semikonduktor tipe-n tanpa adanya pengotor. Hal tersebut disebabkan karena adanya cacat kristal alami pada ZnO. Karena itulah ZnO dapat dijadikan aplikasi ZnO pada teknologi film tipis yaitu dalam penggunaan ZnO sebagai *transparent conducting oxide* (TCO) dan *thin film solar cell* [21],[22]. Dalam hal ini,

terdapat struktur kristal dan ukuran bulir partikel film tipis ZnO yang mempengaruhi sifat optik dan elektriknya. Hasil film tipis tersebut berkaitan dengan energi permukaan yang terbentuk antara substrat dan lapisan yang ditumbuhkan. Penggunaan substrat yang memiliki *lattice mismatch* atau ketidakcocokan kisi yang kecil akan mempermudah dalam proses pembentukan kristal agar lebih teratur dan seragam [23].

### 2.3. Tembaga (Cu)

Secara umum, logam Tembaga (Cu) merupakan jenis logam yang mampu masuk dalam semua strata lingkungan berdasarkan sumber masing-masing. Oleh karena itu tidak heran jika tembaga (Cu) banyak digunakan mulai dari dunia perindustrian, pendidikan sampai kegiatan rumah tangga. Umumnya, tembaga (Cu) merupakan jenis logam merah muda yang mempunyai sifat lunak mudah untuk ditempa [24]. Berdasarkan tabel periodik, tembaga dengan lambang Cu ini memiliki nomor atom 29 dengan massa atom sebesar 63,546 g/mol. Material ini juga mempunyai titik didih sebesar 2562 °C. Tembaga (Cu) tidak dapat larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer, hal ini disebabkan karena adanya potensial elektroda positif (+ 0,34 V oleh pasangan Cu/Cu<sup>2+</sup>) [25]. Adapun ilustrasi logam tembaga (Cu) disajikan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9.** Logam Tembaga Cu [26].

Logam Cu memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik dan mempunyai ketahanan terhadap korosi. Hal ini dapat dikatakan, karena Cu tidak bereaksi dengan air, tetapi bereaksi dengan oksigen di udara membentuk lapisan coklat-hitam tembaga oksida dan menghambat terjadinya korosi pada komposit. Logam Cu dikenal sebagai dopan yang baik untuk digunakan karena mempunyai sifat yang canggih seperti toksisitas rendah dan sumber yang melimpah [27]. Dalam hal ini, Tembaga(I) mudah

teroksidasi menjadi Tembaga(II), dimana  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki 73pm yang merupakan ion mirip dengan  $\text{Zn}^{2+}$  memiliki 74pm, dan telah terungkap bahwa pendopongan Cu pada ZnO dapat membentuk posisi akseptor di celah pita ZnO yang kemudian dapat mengurangi konsentrasi. pembawa sehingga efek resistivitas tinggi cenderung dapat mengurangi arus gelap yang kemudian dapat meningkatkan fotosensitivitas ZnO [28] .

#### **2.4. Lapisan Tipis**

Lapisan tipis adalah salah satu material yang memiliki ketebalan tidak lebih dari 10  $\mu\text{m}$  yang melapisi substrat sehingga dapat didefinisikan sebagai material berdimensi rendah yang terbentuk melalui proses kondensasi ion, molekul, atau dari atom suatu materi [29]. Secara umum, proses pembentukan lapisan tipis pada substrat terdiri atas empat tahapan yaitu sumber, kemudian transportasi material ke substrat, deposisi lapisan di atas substrat, annealing jika dibutuhkan dan yang terakhir adalah analisis. Pada proses pembentukan atau pendeposisian tersebut, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan sebagai pendukung terbentuknya film tipis yang baik. Parameter-parameter deposisi tersebut yaitu laju alir gas atau uap, molaritas larutan, tingkat keasaman larutan, temperatur deposisi, lama deposisi, dan juga tekanan yang merupakan prasyarat utama sebelum pendeposisian dilakukan [30].

#### **2.5. Metode Spray Pyrolysis**

Perlakuan *spray* merupakan perlakuan yang bertujuan dalam pembentukan droplet dari fase cair yang terdispersi dalam fase gas. Dalam hal ini, proses pembentukan *spray* disebut juga sebagai proses atomisasi. Pada umumnya, metode *spray pyrolysis* ini digunakan dalam pembuatan material dengan partikel berukuran micrometer ataupun nanometer. Perlakuan *spray* digunakan untuk mendistribusikan bahan melalui suatu penampang reaktor, dan *pyrolysis* merupakan proses dekomposisi dari bahan organik suhu tinggi tanpa adanya udara ataupun oksigen. Metode *spray pyrolysis* merupakan suatu metode fisika yang relatif mudah, ukuran partikel yang dihasilkan dapat dikontrol, murah, dan dapat diaplikasikan secara kontinyu untuk mensintesis partikel

nano [31]. Dengan menggunakan metode ini, partikel yang dihasilkan akan mempunyai derajat kristal yang lebih tinggi, kemurniannya lebih tinggi, tanpa aglomerasi, luas permukaannya lebih tinggi apabila dibandingkan dengan partikel dasarnya serta rentang waktu yang singkat dalam proses produksinya [31],[32].

Dalam pemrosesan metode ini, dibutuhkan tahapan khusus antara lain teknik penyemprotannya. Dalam pembuatan larutan prekursor untuk mensintesis nanopartikel dapat digunakan dari berbagai jenis larutan atau bahan sesuai dengan yang diinginkan. Dalam hal ini, terdapat konsentrasi prekursor yang mempengaruhi hasil *spray* atau semprotan. Pada metode ini juga, biasanya terdapat proses pendopongan antara 2 bahan atau lebih dalam pembuatan larutan prekursornya, yang mana hal ini bertujuan untuk menghasilkan material dengan konduktivitas lebih baik atau sesuai yang diinginkan [31].

## **2.6. Sel Surya**

Sel surya merupakan suatu komponen ataupun perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Dalam hal ini, efek *photovoltaic* adalah fenomena ketika munculnya tegangan listrik yang disebabkan oleh adanya kontak kedua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Prinsip *photovoltaic* ini mengkonversi radiasi matahari dengan memanfaatkan suatu P-N *junction* pada silikon kristal tunggal yang merupakan bahan semikonduktor. Prinsip ini dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan sel surya [33].

Dalam hal ini, sel surya berkaitan dengan sinar matahari. Sinar matahari mengandung suatu foton yang merupakan partikel kecil pada sinar. Pada saat terkena sinar matahari, foton akan dapat menghantam atom semikonduktor silikon sel surya [34]. Peristiwa ini akan menimbulkan energi yang cukup besar dalam upaya pemisahan elektron dari struktur atomnya. Kemudian elektron yang terpisah dan bermuatan negatif (-) tersebut

dapat bergerak bebas pada area pita konduksi dari material semikonduktor. Dalam hal ini, atom yang kehilangan elektron tersebut maka akan mengalami kekosongan pada strukturnya yang mana peristiwa tersebut meninggalkan lubang kekosongan atau *hole* dengan muatan positif. Untuk daerah *hole* bermuatan positif dan berperan sebagai penerima (*Acceptor*) atau tipe P. Sedangkan daerah semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif yang berperan sebagai pendonor elektron atau tipe N [35].

## **2.7. Post-Annealing**

Perlakuan *post-annealing* merupakan suatu proses pemanasan material dengan adanya kenaikan temperatur dengan kondisi tertentu atau sesuai dengan yang diinginkan [10]. Perlakuan pemanasan *post-annealing* tersebut dilakukan berdasarkan waktu sesuai dengan yang dibutuhkan, misalnya selama 30 menit, 1 jam, atau yang lainnya. Dalam hal ini, proses annealing yang dilakukan tidak serta merta selalu panas, melainkan terdapat tahapan pendinginan yang dilakukan di dalam suatu alat pemanas, tungku, ataupun *furnace* [23]. Dalam kajiannya, terdapat banyak sekali dampak positif dari perlakuan pemanasan tersebut yang dapat menjadi keuntungan dan kelebihan dari sampel yang dibuat. Adapun kelebihanannya yaitu dapat digunakan dalam perbaikan sifat mekanik, penurunan kekerasan, dapat meminimalisir cacat kristal, penurunan ketidak homogenan struktur sampel, membuat halus ukuran butir, dan dapat memungkinkan peningkatan konduktivitas sesuai dengan sampel tertentu juga kebutuhannya [10].

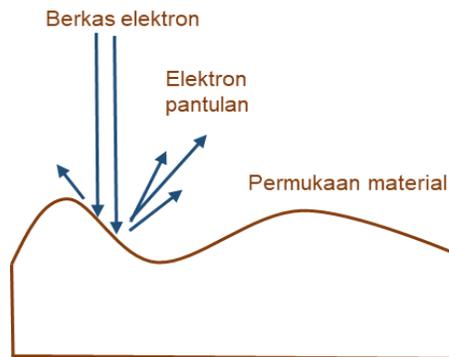
## **2.8. Morfologi, Struktur Kristal, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis**

Film tipis merupakan material yang terbentuk dari suatu lapisan tipis dengan ketebalan nanometer sampai kira-kira mikrometer. Setiap material film tipis masing-masing mempunyai morfologi permukaan, struktur, sifat optik, dan juga sifat listrik yang mempengaruhi kinerja serta efektifitas maupun kualitas dari sampel film tipis tersebut. Morfologi permukaan film tipis merupakan suatu karakter dari film tipis yang sangat berpengaruh terhadap ukuran butir permukaan. Dalam hal ini, ukuran butir pada hasil karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berupa bulir-bulir partikel yang ada diatas permukaan film tipis. Dalam hal ini, terdapat bentuk-bentuk partikel

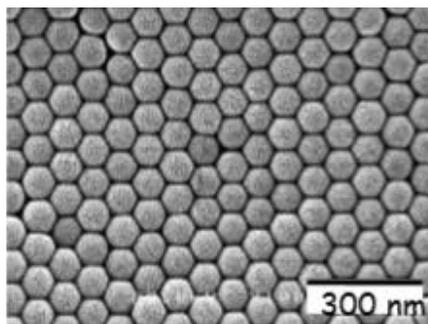
permukaan atau bulir yang dapat dilihat serta dapat diukur besar ukuran sari setiap partikel morfologi atau bulir. Hal ini yang dapat menunjukkan adanya pengaruh dari variasi keterbaruan penelitian yang digunakan.

Morfologi permukaan film tipis tersebut dapat dikaji dan dikarakterisasi menggunakan sebuah alat karakterisasi yang disebut dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang digunakan untuk dapat melihat gambar atau citra partikel sampel dengan ukuran mikrometer hingga nanometer [36].

Adapun ilustrasi penembakan elektron sebagai prinsip kerja dari SEM dan contoh hasil citra SEM disajikan pada Gambar 2.10. dan Gambar 2.11.



**Gambar 2.10.** Prinsip Kerja SEM.



**Gambar 2.11.** Contoh Hasil Citra SEM Material Film Tipis [37].

Berdasarkan ilustrasi yang ditampilkan, terdapat prinsip kerja dari SEM yaitu dengan penembakan permukaan sampel material terhadap berkas elektron yang memiliki energi tinggi yang akan memantulkan kembali berkas sehingga dapat menghasilkan elektron jenis sekunder yang dapat bergerak ke segala arah, kemudian terdapat satu arah dengan berkas yang dipantulkan dengan skala intensitas sangat tinggi atau yang tertinggi sehingga akan muncul informasi profil permukaan sebuah material [36],[37]. Dalam hal ini, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) melibatkan panjang gelombang de Broglie dari elektron. Hal ini menjelaskan sesuatu bahwa semakin rendah atau kecil panjang gelombang maka akan semakin tinggi resolusi dari mikroskop SEM ini, begitu pula sebaliknya. Secara teoritis, panjang gelombang de Broglie dari suatu elektron adalah sebesar konstanta planck dibagi dengan momentum elektron yang mana momentum elektron didapatkan dari hasil hubungan energi kinetik [38].

Selanjutnya untuk karakterisasi struktur, dianalisis menggunakan hasil data karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*). Dalam karakterisasi ini akan dikaji terkait komposisi serta struktur kristal yang ada pada film tipis yang telah dibuat [36]. Kemudian untuk karakterisasi sifat optik digunakan suatu alat yang dinamakan spektrofotometer UV-Vis. Kajian terkait sifat optik dari hasil nilai absorbansi masing-masing sampel yang diukur dalam bentuk kurva yang kemudian digunakan untuk menentukan lebar celah pita energi sehingga akan didapatkan sifat fisis dari material tersebut. Prinsip kerjanya yaitu dengan menyinari material menggunakan gelombang elektromagnetik untuk dapat terjadi adanya penyerapan foton yang disebut dengan absorpsi gelombang, sehingga apabila energi dari foton kurang atau lebih kecil dibandingkan dengan lebar celah pita energi, maka elektron tidak dapat berpindah pada tingkat energi yang lebih tinggi [36].

Dalam hal ini, ketika diberikan perubahan frekuensi gelombang elektromagnetik, maka akan timbul adanya penyerapan oleh material yang bersamaan dengan lebar celah pita energi dari material yang diukur [36],[39]. Berdasarkan penjelasan yang sudah dipaparkan, dapat dikatakan bahwa karakterisasi sifat optik film tipis digunakan juga

untuk melihat interaksinya dengan cahaya. Untuk sifat optik dari suatu film tipis dapat terbukti dari beberapa parameter seperti spektrum refleksi, transmisi dan juga absorbansi [34],[39]. Berdasarkan nilai absorbansi dan transmitansinya, sifat optik juga dapat mengkaji nilai energi gap (*band gap*) sebagai kontribusi dari nilai absorbansi [40],[41].

Selanjutnya untuk sifat listrik dari film tipis. Sifat listrik film tipis merupakan salah satu parameter terpenting terhadap pengaplikasian film tipis tersebut. Sifat listrik dari film tipis dapat diketahui berdasarkan adanya perlakuan karakterisasi sifat listrik seperti dengan pengukuran I-V meter. Pengukuran ini dilakukan bertujuan untuk dapat mengetahui seberapa besar arus yang dihasilkan dari material film tipis yang telah dibuat sehingga akan diketahui tingkat sensitivitas serta konduktivitas listriknya. Kemudian pada pengukuran I-V ini juga terdapat 2 tipe perlakuan yaitu pola gelap dan pola terang. Kedua perlakuan tersebut digunakan masing-masing dengan pemberian adanya cahaya dengan disinari senter dan penutupan material film tipis sehingga kondisi disekitarnya akan gelap. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan tegangan (V) dan arus (I) [42].